



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

مدلسازی ژئوالکتریکی یک و دو بعدی آلودگی در محل دفن زباله ها
در منطقه امان آباد اراک

اساتید راهنما

دکتر محمود میرزائی

دکتر فرامرز دولتی

استاد مشاور

دکتر علی مرادزاده

محقق

امید سراج

تابستان ۱۳۸۵

تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود لازم می دارم که از زحمات و راهنمایی های اساتید راهنمای خودم آقایان دکتر محمود میرزایی و دکتر فرامرزدولتی و استاد مشاور آقای دکتر علی مرادزاده تشکر کنم. آقای مهندس احمد باقری، خانم مهندس مشهدی و آقای مینا نیز در این پایان نامه کمکهای مفیدی به اینجانب کرده اند که بجاست از زحماتشان کمال تشکر به عمل آید.

چکیده:

روند افزایش جمعیت و رشد جمعیت و افزایش مواد مصرفی و استفاده نادرست از آن به خصوص در کشورهای در حال توسعه و غیر صنعتی در سالهای اخیر موجب افزایش چشمگیر زباله شده و از طرف دیگر توجه به محیط زیست، حفظ و نگهداری جوامع بشری از آلودگی ها، باعث توجه خاص مجامع علمی به معضل زباله گردیده است.

در این تحقیق، هدف اصلی بر این است تا وضعیت محل دفن زباله های شهر اراک با استفاده از داده های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه، اطلاعات موجود از حفاریها، زمین شناسی منطقه و هیدرولوژی منطقه، دست به مدلسازی یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی داده های مقاومت ویژه زده و از نتایج به دست آمده از آن، مدل تقریبی سه بعدی حرکت آلودگی را در منطقه پیش بینی کنیم، تا بتوان با دید به سرعت و جهت حرکت آلودگی، تمهیدات لازم برای جلوگیری از گسترش آن انجام شود.

در منطقه دفن زباله های شهر اراک حدود ۵۰ سونداژ الکتریکی توسط نرم افزار *IXID*، بصورت یک بعدی مدلسازی شدند و نتایج آن با اطلاعات زمین شناسی منطقه مقایسه شدند سپس با استفاده از نرم افزار *Res2DINV*، مدل دو بعدی پروفیل های مقاومت ویژه به دست آمد که این مدلها با توجه به اطلاعات زمین شناسی در منطقه بهینه شدند. با استفاده از نتایج مدلسازی دوبعدی، مدل شبه سه بعدی با استفاده از نرم افزار *Rockwork2004* حاصل شد. تا بتوان روند تغییرات مقاومت ویژه را به صورت سه بعدی مورد مطالعه قرار داد. همچنین داده های مقاومت ویژه با استفاده از نرم افزار *Res3DINV*، مدلسازی سه بعدی شد.

نتایج حاصل از تفسیر مدلسازی های ژئوفیزیکی همچون سنگ کف و جنس لایه ها، جهت مدلسازی سه بعدی حرکت آلودگی در منطقه با استفاده از نرم افزار *GMS*، استفاده شد. به کمک این نرم افزار جهت و تغییرات زمانی حرکت آلودگی پیش بینی شد، که با واقعیت منطقه تطبیق دارد.

در کل نتایج نشان می دهد که عمق سنگ کف در منطقه دفن زباله کم است و در حدود ۲۰ متر می باشد، همچنین مشخص است که حرکت آبهای زیرزمینی از سمت غربی منطقه صورت می گیرد. حرکت آلودگی از سمت غربی منطقه دفن زباله به علت شیب سنگ کف صورت می گیرد و می تواند چاههای آب شرب منطقه را تا ۴۰ سال آینده آلوده کند.

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان
۱	فصل اول
۱	کلیات
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ آلودگی آبهای زیرزمینی
۲	۱-۲-۱ آلودگی فیزیکی آب
۲	۲-۲-۱ آلودگی شیمیایی
۲	۳-۲-۱ آلودگی فیزیولوژیکی
۳	۴-۲-۱ آلودگی بیولوژیکی
۳	۵-۲-۱ لندفیل‌ها
۴	۶-۲-۱ سیال حاصل از شستشوی لندفیل
۵	۳-۱ فاکتورهای مهم
۶	۱-۳-۱ شرایط طبیعی منطقه
۷	۲-۳-۱ چهره (ظاهر) فرهنگی
۷	۳-۳-۱ آلودگیهای خطرناک
۸	۴-۳-۱ برهم کنش متقابل آلاینده ها و طبیعت
۱۰	۵-۳-۱ برداشت و مکان یابی محل
۱۱	۶-۳-۱ ایمنی
۱۱	۷-۳-۱ ترابری و غیره
۱۱	۸-۳-۱ جنبه قانونی
۱۲	۹-۳-۱ جنبه اجتماعی
۱۲	۱۰-۳-۱ جنبه اقتصادی
۱۲	۴-۱ روش مقاومت ویژه
۱۲	۵-۱ ارتباط بین زمین شناسی و مقاومت ویژه
۱۲	۶-۱ رسانندگی الکتریکی سنگها
۱۶	۷-۱ انتشار جریان در زمین همگن
۱۹	۸-۱ اندازه گیری مقاومت ویژه
۲۱	۹-۱ روشهای تفسیر
۲۱	۱۰-۱ منحنی های کمکی

۲۲	۱۱-۱ مدل‌سازی رایانه ای (عددی)
۲۴	۱-۱۱-۱ اصول مدل‌سازی معکوس
۲۸	۱۲-۱ حرکت آبهای زیر زمینی
۲۸	۱۳-۱ حرکت آلودگی در سیستم جریان آبهای زیرزمینی
۲۹	۱۴-۱ انتقال همراه با جریان
۲۹	۱-۱۴-۱ پراکندگی
۳۱	۲-۱۴-۱ تاخیر
۳۲	۳-۱۴-۱ واکنش شیمیایی
۳۳	۱۵-۱ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت آن
۳۴	۱۶-۱ اهداف
۳۵	۱۷-۱ روش تحقیق
۳۶	۱۸-۱ ساختار پایان نامه
۳۷	فصل دوم
۳۷	موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه
۳۷	۱-۲ مقدمه
۳۷	۲-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه
۳۷	۳-۲ راههای دسترسی
۳۹	۴-۲ زمین شناسی منطقه
۴۰	۵-۲ چینه شناسی :
۴۰	۱-۵-۲ واحد اسلیت و آهک متبلور (Ksl):
۴۱	۲-۵-۲ واحد شیل آهکی کرتاسه فوقانی (Ku)
۴۲	۳-۵-۲ واحد گرانودیوریت و دیوریت (d)
۴۲	۴-۵-۲ واحدهای آبرفتی قدیمی (QT1)
۴۲	۵-۵-۲ واحد پادگانه های آبرفتی جدید (Qt2):
۴۳	۶-۲ نفوذپذیری و خصوصیات هیدرودینامیکی واحدهای زمین شناسی حوزه:
۴۳	۱-۶-۲ واحد اسلیت و آهک کریستالین (Ksl) :
۴۳	۲-۶-۲ واحد شیل آهکی (Ku) :
۴۴	۳-۶-۲ واحدهای آبرفتی (Qt1-Qt2)
۴۴	۷-۲ ژئومورفولوژی
۴۴	۱-۷-۲ واحد کوهستان (کد ۱)
۴۴	۱-۱-۷-۲ رخساره نوع اول
۴۵	۲-۱-۷-۲ رخساره نوع دوم

۴۵	۲-۷-۱-۳ واحد تپه (کد ۲)
۴۵	۲-۷-۱-۴ رخساره با پوشش تخریبی ۵۰-۷۵ درصد
۴۶	۲-۷-۱-۵ واحد آبرفت کدهای (۳، ۴، ۹ و ۴/۵)
۴۷	۲-۸ بررسی وضعیت واحدهای سنگی در محدوده دفن زباله
۴۸	۲-۹ بررسی منابع آبی منطقه
۵۰	۲-۱۰ بارندگی
۵۲	فصل سوم
۵۲	ارائه و تفسیر داده های ژئوفیزیکی
۵۲	۳-۱ ارائه داده ها
۵۴	۳-۲ تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه
۵۴	۳-۲-۱ پروفیل A
۵۶	۳-۲-۲ پروفیل B
۵۷	۳-۲-۳ پروفیل C
۵۸	۳-۲-۴ پروفیل D
۶۰	۳-۲-۵ پروفیل E
۶۱	۳-۲-۶ پروفیل F
۶۲	۳-۲-۷ پروفیل GFEDCB
۶۳	۳-۳ تفسیر دستی داده ها
۶۳	۳-۴ مدل سازی و تفسیر با نرم افزار IX1D
۶۵	۳-۵ مدل سازی و تفسیر با نرم افزار Res2DINV
۶۵	۳-۶ توپوگرافی و تصحیح اثرات آن توسط نرم افزار RES2DINV
۶۶	۳-۷ تفسیر نتایج مدل سازی های یک و دو بعدی
۶۷	۳-۷-۱ پروفیل A
۶۹	۳-۷-۲ پروفیل B
۷۱	۳-۷-۳ پروفیل C
۷۳	۳-۷-۴ پروفیل D
۷۵	۳-۷-۵ پروفیل E
۷۷	۳-۷-۶ پروفیل F
۷۹	۳-۷-۷ پروفیل G
۸۱	۳-۸ مدل شبه سه بعدی محل دفن زباله ها
۸۴	۳-۹ عمق سنگ کف
۸۴	۳-۱۰ مدل سازی و تفسیر با استفاده از نرم افزار RES3DINV

۸۴	۳-۱۰-۱ آرایه های مورد استفاده در برداشت سه بعدی
۸۶	۳-۱۱ شبکه بندی داده ها
۹۰	فصل چهارم
۹۰	مدل سازی حرکت آلودگی
۹۰	۴-۱ مقدمه
۹۰	۴-۲ شبیه سازی کمی منطقه
۹۰	۴-۳ طراحی مدل
۹۰	۴-۳-۱ محدوده انتخابی از لحاظ مختصات UTM
۹۱	۴-۳-۲ شبکه بندی آبخوان
۹۱	۴-۳-۳ تعیین توپوگرافی و ارتفاع سنگ کف
۹۳	۴-۳-۴ شرایط مرزی
۹۴	۴-۳-۵ شرایط اولیه
۹۴	۴-۳-۶ پارامترهای ورودی
۹۴	۴-۳-۷ ورودی و خروجی منطقه
۹۴	۴-۳-۸ اجرای مدل
۹۴	۴-۳-۹ بهینه سازی مدل
۹۵	۴-۴ مدلسازی کیفی حرکت آلودگی
۱۰۱	فصل پنجم
۱۰۱	نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۱	۵-۱ نتیجه گیری
۱۰۷	۵-۲ پیشنهادات
۱۰۸	منابع
۱۱۰	پیوست الف: موقعیت سونداژها و آمار مربوط به چاهها، قنوات و چشمه های منطقه سوارآباد
۱۱۵	پیوست ب: روش کار ، نمونه فایل و مدل ساخته شده RESIX IP
۱۱۷	مدل های ساخته شده نرم افزار IX1D

فهرست شکلها

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۱: منابع سیالاتی که موجب شستشوی لندفیل می شوند. [دولتی و همکاران ۱۳۸۴].....	۵
شکل ۲-۱: فاکتورهایی که در بررسی سایت تاثیر گذار هستند. [بنسون ۱۹۸۰].....	۶
شکل ۳-۱: الکترودهای نقطه ای A و B ، الکترودهای جریان بوده و الکترودهای M و N الکترودهای اندازه گیری پتانسیل می باشند.....	۲۰
شکل ۴-۱: آرایه متقارن شولومیرزه.....	۲۱
شکل ۵-۱: فلوجارت مراحل انجام شده در پایان نامه.....	۳۵
شکل ۱-۲: موقعیت محل دفن زباله های شهر اراک در نقشه ایران [GoogleEarth 2006].....	۳۸
شکل ۲-۲: راههای دسترسی به محل دفن زباله های شهر اراک [سازمان نقشه برداری ۱۳۷۸].....	۳۹
شکل ۳-۲: زمین شناسی و نقشه واحدهای سنگی شامل محل جمع آوری زباله شهر اراک [میرزایی، ۱۳۸۲].....	۴۱
شکل ۴-۲: واحدهای ژئومورفولوژی (تیپ اراضی) حوزه محل جمع آوری زباله امروزی شهر اراک [میرزایی، ۱۳۸۲].....	۴۶
شکل ۵-۲: موقعیت چاهها (W)، قنوات (K) و چشمه ها (S) در منطقه سوار آباد.....	۴۹
شکل ۶-۲: نقشه ایزوپیز بررسی خطوط جریان آب با استفاده از اطلاعات چاهها و قنوات در محدوده دفن زباله شهر اراک [میرزایی ۱۳۸۲].....	۵۰
شکل ۱-۳: تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه و محل سونداژهای برداشت شده.....	۵۲
شکل ۲-۳: نمایی از منطقه دفن زباله.....	۵۳
شکل ۳-۳: نمایی از غرب منطقه دفن زباله ها.....	۵۳
شکل ۴-۳: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل A	۵۴
شکل ۵-۳: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان $AB/2$ در پروفیل A	۵۵
شکل ۶-۳: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل B	۵۶

- شکل ۳-۷: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل B ۵۷
- شکل ۳-۸: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل C ۵۷
- شکل ۳-۹: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل C ۵۸
- شکل ۳-۱۰: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل D ۵۹
- شکل ۳-۱۱: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل D ۵۹
- شکل ۳-۱۲: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E ۶۰
- شکل ۳-۱۳: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل E ۶۰
- شکل ۳-۱۴: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل F ۶۱
- شکل ۳-۱۵: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل F ۶۲
- شکل ۳-۱۶: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل $GFEDCB$ ۶۲
- شکل ۳-۱۷: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل $GFEDCB$ ۶۳
- شکل ۳-۱۸: سونداژ $F3$ که لایه اول به علت هوازدگی قسمت سطحی به صورت دو لایه در نظر گرفته شده است، ضخامت لایه هوازده در حدود یک متر است. ۶۵
- شکل ۳-۱۹: تاثیر توپوگرافی بر روی سطوح هم پتانسیل و خطوط جریان [فوکس و همکارانش، ۱۹۸۰] ۶۶
- شکل ۳-۲۰: مدل دوبعدی پروفیل A همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۶۸
- شکل ۳-۲۱: مدل یک بعدی سونداژ $B3$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۶۹
- شکل ۳-۲۲: مدل دوبعدی پروفیل B همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۷۰

- شکل ۳-۲۳: مدل یک بعدی سونداژ $C4$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۷۱
- شکل ۳-۲۴: مدل دوبعدی پروفیل C همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۷۲
- شکل ۳-۲۵: مدل یک بعدی سونداژ $D4$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۷۳
- شکل ۳-۲۶: مدل دوبعدی پروفیل D همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۷۴
- شکل ۳-۲۷: مدل یک بعدی سونداژ $E3$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۷۵
- شکل ۳-۲۸: مدل دوبعدی پروفیل E همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۷۶
- شکل ۳-۲۹: مدل یک بعدی سونداژ $F3$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۷۷
- شکل ۳-۳۰: مدل دوبعدی پروفیل F همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۷۸
- شکل ۳-۳۱: مدل یک بعدی سونداژ $G2$ با استفاده از نرم افزار $IXID$ ۷۹
- شکل ۳-۳۲: مدل دوبعدی پروفیل C همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی ۸۰
- شکل ۳-۳۳: مدل شبه سه بعدی از محل دفن زباله های شهر اراک ۸۲
- شکل ۳-۳۴: حجم تقریبی آبرفت در محل دفن زباله های اراک ۸۳
- شکل ۳-۳۵: محل مقطع تقریبی پروفیلها که از مدل شبه سه بعدی به دست آمده است ۸۳
- شکل ۳-۳۶: مقاطع افقی از شبه مقطع سه بعدی که تغییرات مقاومت ویژه را با افزایش عمق نشان می دهد ۸۵
- شکل ۳-۳۷: دو نمونه از برداشتهای سه بعدی، پوشش برداشت a از برداشت b کامل تر است [لوک ۲۰۰۲] ۸۶
- شکل ۳-۳۸: نمونه ای از آرایش الکترودی که برای برداشتهای سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. [لوک ۲۰۰۲] ۸۷
- شکل ۳-۳۹: سونداژهای استفاده شده در مدلسازی سه بعدی ۸۷
- شکل ۳-۴۰: مدل سه بعدی داده های مقاومت ویژه محل دفن زباله های شهر اراک ۸۸

- شکل ۴-۱: نمایش توپوگرافی و محدوده مدلسازی، محدوده دفن زباله از ارتفاع بیشتری نسبت به منطقه برخوردار است. ۹۲.....
- شکل ۴-۲: محدوده مدلسازی، سلولهای سیاه رنگ فعال هستند و سلولهای قرمز رنگ غیر فعال هستند. ۹۳.....
- شکل ۴-۳: نحوه محاسبه خطا در چاههای پیزومتری. ۹۵.....
- شکل ۴-۴: چاههای پیزومتری در منطقه مدلسازی و خطوط هم تراز آب زیرزمینی. در این شکل چاههای منطقه با شماره نشان داده شده اند و چاههای آب شرب با یک شماره در کنار W نشان داده شده است، چاه رنگرزی بنام *factory* مشخص شده است. ۹۷.....
- شکل ۴-۵: حرکت آلودگی پس از ۲۲ سال از ابتدای انباشت زباله. ۹۸.....
- شکل ۴-۶: حرکت آلودگی پس از ۴۶ سال از ابتدای انباشت زباله. ۹۹.....
- شکل ۴-۷: حرکت آلودگی پس از ۶۶ سال از ابتدای انباشت زباله. ۱۰۰.....
- شکل ۵-۱: پروفیل $B4C4D3E2F3$ ، افتادگی شدید آبرفتها در $C4$. ۱۰۲.....
- شکل ۵-۲: پروفیل $B3C3D2E1F2$ ، افتادگی آبرفتها در $C3$. ۱۰۳.....
- شکل ۵-۳: پروفیل $B6C6D5F5$ ، افزایش عمق آبرفت از سونداژ $D5$. ۱۰۴.....
- شکل ۴-۵: نمایش سطح آب زیرزمینی در منطقه به صورت سه بعدی. ۱۰۵.....
- شکل ۵-۵: نمایش مسیر حرکت آلودگی از سمت غرب در ۲۰ سال آینده. ۱۰۶.....
- شکل ۵-۶: پیش بینی حرکت آلودگی در ۴۰ سال آینده. ۱۰۶.....
- شکل ب ۱-: صفحه اصلی برنامه *IXID* که داده های مقاومت ویژه، *Frequently EM JP* *TEM sounding MT sounding EM Conductivity sounding sounding* را می تواند مدلسازی یک بعدی کند. ۱۱۵.....
- شکل ب ۲-: تعیین نوع آرایه ای که داده ها با آن برداشت شده است. ۱۱۶.....
- شکل ب ۳-: مدل یک بعدی سونداژ $A1$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار *IXID*. ۱۱۷.....
- شکل ب ۴-: مدل یک بعدی سونداژ $A2$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار *IXID*. ۱۱۸.....
- شکل ب ۲-: مدل یک بعدی سونداژ $A3$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری

- توسط نرم افزار *IXID* ۱۱۸
- شکل ب ۶- مدل یک بعدی سونداژ $A4$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۱۹
- شکل ب ۷- : مدل یک بعدی سونداژ $A5$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۱۹
- شکل ب ۸- : مدل یک بعدی سونداژ $A6$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۰
- شکل ب ۹- : مدل یک بعدی سونداژ $A7$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۰
- شکل ب ۱۰- : مدل یک بعدی سونداژ $A8$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۱
- شکل ب ۱۱- : مدل یک بعدی سونداژ $A9$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۱
- شکل ب ۱۲- : مدل یک بعدی سونداژ $A10$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۲
- شکل ب ۱۳- : مدل یک بعدی سونداژ $B1$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۲
- شکل ب ۱۴- : مدل یک بعدی سونداژ $B2$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۳
- شکل ب ۱۵- : مدل یک بعدی سونداژ $B4$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۳
- شکل ب ۱۶- : مدل یک بعدی سونداژ $B5$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۴
- شکل ب ۱۷- : مدل یک بعدی سونداژ $B6$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۴
- شکل ب ۱۸- : مدل یک بعدی سونداژ $B7$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری

- توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۵
- شکل ب ۱۹- مدل یک بعدی سونداژ *C1* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۵
- شکل ب ۲۰- مدل یک بعدی سونداژ *C2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۶
- شکل ب ۲۱- مدل یک بعدی سونداژ *C3* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۶
- شکل ب ۲۲- مدل یک بعدی سونداژ *C4* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۷
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *C6* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۷
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *C7* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۸
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *D1* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۸
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *D2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۹
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *D3* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۲۹
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *D5* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۰
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *E1* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۰
- شکل ب ۳۰- مدل یک بعدی سونداژ *E2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۱
- شکل ب ۲- مدل یک بعدی سونداژ *E4* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری

- توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۱
- شکل ب- ۲: مدل یک بعدی سونداژ *E5* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۲
- شکل ب- ۲: مدل یک بعدی سونداژ *E6* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۲
- شکل ب- ۲: مدل یک بعدی سونداژ *F1* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۳
- شکل ب- ۲: مدل یک بعدی سونداژ *F2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۳
- شکل ب- ۲: مدل یک بعدی سونداژ *F4* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۴
- شکل ب- ۳۷: مدل یک بعدی سونداژ *F5* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۴
- شکل ب- ۳۸: مدل یک بعدی سونداژ *F6* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۵
- شکل ب- ۳۹: مدل یک بعدی سونداژ *G2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۵
- شکل ب- ۴۰: مدل یک بعدی سونداژ *G3* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۶
- شکل ب- ۴۱: مدل یک بعدی سونداژ *G4* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۶
- شکل ب- ۴۲: مدل یک بعدی سونداژ *H2* حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری
توسط نرم افزار *IXID* ۱۳۷

فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول ۱-۱: رها شدگی آلاینده ها به آبهای سطحی و زیرزمینی [دولتی و همکاران ۱۳۸۴].....	۹
جدول ۲-۱: تغییر مقاومت ویژه با محتوای آب [تلفورد ۱۳۷۵].....	۱۵
جدول ۳-۱: مقاومت ویژه برخی سنگها، کانیها و عناصر شیمیایی معمول. [پاترا-۱۳۸۲].....	۱۶
جدول ۱-۲: متوسط بارندگی سی ساله در ایستگاههای موجود [میرزایی ۱۳۸۲].....	۵۱
جدول ۱-۴: مقادیر پارامترهای ورودی مدل کیفی.....	۹۶

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

روند افزایش رشد جمعیت و افزایش مواد مصرفی و استفاده نادرست از آن به خصوص در کشورهای در حال توسعه و غیر صنعتی در سالهای اخیر، موجب افزایش چشمگیر زباله شده و از طرف دیگر توجه به محیط زیست، حفظ و نگهداری جوامع بشری از آلودگی ها باعث توجه خاص مجامع علمی به معضل زباله گردیده است.

بسط و توسعه شهرنشینی و پیدایش کلان شهرها در چند قرن اخیر، مسئله دفع زباله و یا استفاده مجدد از برخی زباله ها را به صورت قابل توجهی جلوه گر ساخته است. با توجه به حجم زباله های تولید شده در شهرها، از بین روشهای دفع زباله، دفن، کارآمدترین و در عین حال ساده ترین و ارزانترین روشی می باشد که برای حجم بالایی از زباله های تولید شده می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

بطور خلاصه می توان گفت در ایران سه روش دفع زباله تجربه شده است:

۱. روش سوزاندن که چندان مورد استقبال قرار نگرفت.

۲. هزینه زیادی در کشور صرف روشهای بازیافت و تبدیل زباله مثل کمپوست شده است، لیکن هنوز

این روشها جوابگو درصد قابل توجهی از نیازهای دفع زباله در کشور نمی باشند.

۳. دفن زباله متداولترین روش دفع مواد زائد جامد در ایران محسوب می شود. شاید بتوان اظهار

نمود که در مقایسه آماری با سایر روشها، دفن تنها روش دفع زباله در ایران است.

با توجه به اینکه هم اکنون دفن زباله تقریباً تنها روش عمده در کشور است و پیش بینی می شود

که تا آینده نزدیک نیز روش دیگری قادر به برطرف کردن درصد قابل توجهی از نیازهای دفع زباله

نباشد، بنابراین باید مشکلات دفن زباله در ایران شناخته شده و قدم های لازم در جهت حل آنها صورت

گیرد. دفن زباله در ایران دفن مهندسی و بهداشتی نیست. زباله به صورت سنتی در گودال ریخته می

شود و روی آن با اندکی خاک پوشیده می گردد. شیرآبه زباله که آلودگی بسیار زیادی دارد، در زمین نفوذ کرده و موجب آلودگی های منابع آب و خاک می گردد.

انتشار آلودگی با اتمام شیرآبه خاتمه نمی یابد زیرا بارندگی و سایر نزولات جوی وارد زباله شده و انتشار آلودگی را استمرار می دهند. پوشش سطحی نیز در روش سنتی به صورت اصولی اجرا نمی شود و بوی تعفن زباله موجب بیماری و عدم رضایت ساکنان مجاور می گردد. مطالعات تاثیرنشت شیرابه احتمالی تشکیل شده از زباله های دفن شده در منطقه امان آباد اراک نیاز اساسی در شناخت ساختار زیرسطحی را از طریق مطالعات ژئوفیزیک در این منطقه اجتناب ناپذیرنموده است.

۲-۱ آلودگی آبهای زیرزمینی^۱

آلودگی آب عبارت است از، تغییرات نامطلوب کیفیت یا خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، فیزیولوژیکی و بیولوژیکی آب که حیات انسان و دیگر موجودات زنده را تهدید می کند. [پرویز کردوانی ۱۳۷۴]

۱-۲-۱ آلودگی فیزیکی آب

در مورد آلودگی فیزیکی آب موارد زیر مورد بررسی قرار می گیرد:
رنگ، مواد معلق در آب، مواد رادیواکتیو، حرارت و کف.

۲-۲-۱ آلودگی شیمیایی

ورود ناخالصیها مانند مواد شیمیایی که در صنعت و کشاورزی روزمره بکار می رود، از آن جمله مواد نفتی، روغنی و مواد معدنی از قبیل سرب، روی، مس، سموم دفع آفات، سموم علف کش، کودهای شیمیایی، مواد پاک کننده و بطور کلی تمام مواد معدنی و آلی که بطور طبیعی و مصنوعی وجود دارند.

۳-۲-۱ آلودگی فیزیولوژیکی

در آلودگی فیزیولوژیکی، بو و طعم بد نشانه آلودگی است.

^۱ - groundwater contamination

۱-۲-۴ آلودگی بیولوژیکی

کلیه موجودات زنده که وارد آب می شوند و به سلامت دیگر موجودات زنده زیان وارد می کنند، مانند باکتریها، قارچها، ویروسها، انگل ها و غیره آلودگی بیولوژیکی آب را تولید می کنند. مشکل آلودگی آبهای زیرزمینی در نواحی صنعتی، شهری، روستایی و مناطق معدنی دیده می شود. منابع آلودگی آبهای زیرزمینی و نوع آلاینده ها بی شمار می باشند. حلال های^۱ صنعتی معمول مانند تری کلرو اتیلن، تری کلرو اتان، تترا کلرواتان، بنزن، تترا کلرید کربن در نواحی وسیع یافت می شوند. در نواحی شهری آبهای زیرزمینی حاوی غلظت بالای نیترات هستند که علت آن استفاده از کودهای گیاهی و همچنین تخلیه های مربوط به تانکهای فاضلاب^۲ می باشند. در مناطق کشاورزی درصد بالایی از کود و ترکیبات شیمیایی مصنوعی در آب زیرزمینی یافت می شوند. محل دفن زباله ها به صورت لندفیل در نواحی شهری و روستایی از منابع آلودگی تلقی می شوند [دولتی و همکاران ۱۳۸۴].

۱-۲-۵ لندفیل ها

لندفیل ها جهت دفن زباله ها احداث می گردند. بطور کلی می توان لندفیلها را از لحاظ نوع زباله دفن شده به سه دسته تقسیم بندی کرد:

۱. لندفیل جهت دفن زباله های خطرناک
۲. لندفیل جهت دفن زباله های غیر خطرناک
۳. لندفیل جهت دفن زباله های راکد و ساکن

دفن زباله ها در یک محل عموماً به معنی جا دادن زباله شهری، خاکستر، برگ گیاهان، زباله های حاصل از تخریب و لجن فاضلاب های شهری و آب های آلوده صنعتی می باشد. باطله های خطرناک، سمی و رادیواکتیو نیز بدین صورت دفن می شوند. باران و نزولات جوی که در زباله ها نفوذ می کند می تواند با مایعات داخل آن مخلوط شده و ترکیبات و آلاینده ها را از باطله های جامد شستشو دهد. مواد شسته شده که به این طریق ایجاد می گردد باعث آلودگی آب زیرزمینی می شود. چنانچه زباله ها

^۱ - industrial solvents

^۲ - septic tank

زیر سطح آب زیرزمینی مدفون شده باشند، حرکت آب زیرزمینی می‌تواند ترکیبات باطله را شسته و آلوده شود. مواد شسته شده از لندفیل‌ها می‌توانند شامل غلظت‌های بالایی از مواد آلی و معدنی باشند. بعضاً محلول شسته شده از یک لندفیل با آب زیرزمینی مخلوط شده و در مسیر جریان آب زیرزمینی توسعه می‌یابد. با دور شدن از منبع آلودگی بسته به توزیع هیدرودینامیکی و فرآیند تأخیر غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. حجم مایعاتی که از یک لندفیل شسته می‌شود تابع میزان آب نفوذی از میان زباله‌ها می‌باشد.

۱-۲-۶ سیال حاصل از شستشوی^۱ لندفیل^۲

شیرابه مایعی بوده که از داخل مواد زاید به خارج تراوش کرده و حاوی مواد محلول و معلق می‌باشد. در اغلب زمینهای دفن، شیرابه از تجزیه مواد آلی و یا مایعی که ممکن است از منابع خارجی مثل زهکشی آبهای سطحی، آب باران، آبهای ناشی از منابع زیرزمینی وارد مواد زائد شود، به وجود می‌آید.

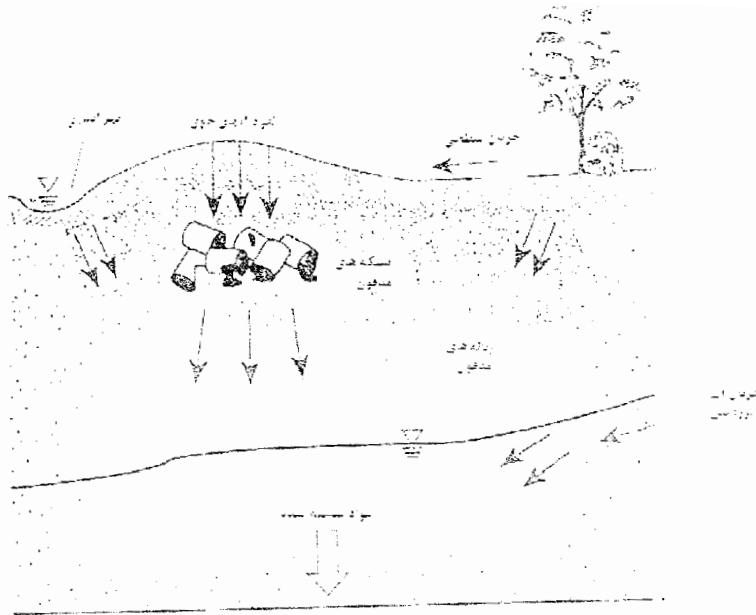
اگر میزان رطوبت مواد داخل محل دفن از یک مقدار خاصی بیشتر شد شیرابه شروع به تولید شدن میکند و به طرف پایین حرکت خواهد کرد که این مقدار خاص را با اسم ظرفیت نگهداری می‌شناسند [جلالوندی ۱۳۷۹].

شکل ۱-۱ سیالات مختلفی که ممکن است در شستن آلاینده‌های لندفیل نقش داشته باشند را نشان می‌دهد. این آبها عبارتند از:

۱. نزولات جوی که مستقیماً روی لندفیل می‌بارند و ممکن است به داخل آن نفوذ نمایند.
۲. جریان آب سطحی که در روی لندفیل عبور می‌کند
۳. جریان آب از بین بخشی از لندفیل که زیر سطح ایستابی آبهای زیرزمینی قرار می‌گیرد.
۴. بخش مواد مایع دفن شده در لندفیل (در گذشته از لندفیل برای دفن باطله‌های مایع به صورت فله‌ای یا در داخل بشکه‌ها استفاده می‌کردند).

¹ Leachate

² Landfill



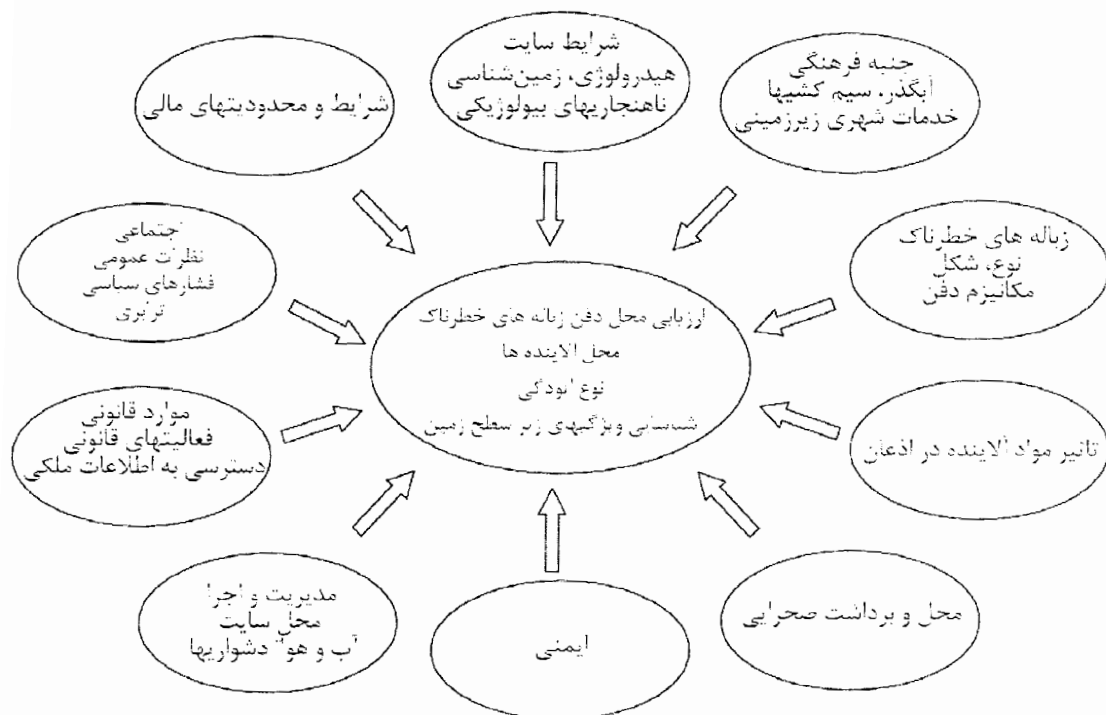
شکل ۱-۱: منابع سیالاتی که موجب شستشوی لندفیل می شوند [دولتی و همکاران ۱۳۸۴].

۳-۱ فاکتورهای مهم

شکل ۱-۲ بعضی از عواملی که در طراحی و ارزیابی مناطق دارای باطله های خطرناک (HWS) تأثیر دارند، را نشان می دهد. سه مورد از اهداف اصلی که در ارزیابی صحرائی HWS مد نظر می باشد، در مرکز شکل دیده می شود که عبارتند از:

- محل دفن زباله ها ، شامل تفکیک پذیری ، مقدار و نوع آنها.
- شناخت توده آلوده موجود ، جهت ، سرعت حرکت آن و انتشار آلاینده ها.
- شناسایی شرایط طبیعی هیدروژئولوژی و موارد ایجاد شده توسط انسانها.

¹ Hazardous waste site



شکل ۱-۲: فاکتورهایی که در بررسی سایت تاثیر گذار هستند [بنسون^۱ ۱۹۸۰].

در زیر مروری بر این متغیرها خواهیم داشت:

۱-۳-۱ شرایط طبیعی منطقه

اگر زیر سطح زمین از لایه رس یکنواخت تشکیل شده باشد، ارزیابی آن می تواند به طور نسبی ساده و مستقیم باشد. به هر حال در بیشتر موارد این حالت رخ نمی دهد. برای مثال، تغییر کمی در محتویات خاک رس و شن می تواند تراوایی (نفوذ پذیری) هیدرولیکی را ده برابر تغییر دهد. بنابراین، محقق باید تغییرات بسیار ناچیز را مورد توجه قرار دهد زیرا ممکن است باعث خطاهای غیر قابل پیش بینی شود. تغییرات ناچیز در طبقات زیر سطح زمین در بعضی از موارد به سختی قابل شناسایی است.

تأثیرات روزانه و فصلی دما و بارش می تواند بر روی مهاجرت و توازن آلاینده ها تاثیر بگذارد. همچنین سطح آب زیرزمینی بسیار مهم است زیرا آلاینده ها به سادگی می توانند در سیستم آب زیرزمینی وارد شوند. تغییرات جزئی در تراوایی (نفوذپذیری) سبب می شود تا جریان آب زیرزمینی، در

¹ Benson

جهت و با سرعت خاصی به راه بیفتند.

۱-۳-۲ چهره فرهنگی

پیشرفتهای فرهنگی و تغییرات جزئی آن نیز بر روی *HWS* تاثیرگذار است. سطوح آسفالت شده و شبکه فاضلاب سبب جمع شدن آب های سطحی می شود. زه کشیهایی که برای قرار دادن لوله ها ، شبکه فاضلاب ، خطوط تلفن و بقیه خدمات شهری انجام می شود معمولاً توسط موادی پر می شوند که از فشردگی کم برخوردار هستند یا نفوذپذیری بالاتری نسبت به سنگ و خاک طبیعی دارند. این مسیر می تواند به عنوان یک آبراه بالقوه برای افزایش سرعت حرکت آلودگی ها باشند. وجود کانال ها و پمپاژ آبهای زیرزمینی در مهاجرت آلودگیها در روی زمین و زیرزمین تاثیر به سزایی دارند . به علاوه ، نشت از بسیاری از لوله ها یا تانکها می تواند به عنوان منابع آلوده کننده به حساب آیند.

۱-۳-۳ آلودگیهای خطرناک

نوع، فرم، روش دور ریختن، حفظ منابع طبیعی و فعالیتهای بازیافت زباله های خطرناک *HWS*، در صورتی که درست مدیریت نشوند به عنوان عوامل مهم و اصلی در آسیب زدن به سلامتی و محیط زیست خواهد بود. توصیف زباله های خطرناک دارای ۴ ویژگی زیر می باشد :

- قابل احتراق
- فرسایشگر
- قابل فعال شدن مجدد
- سمی بودن

در صورتی که زباله ها باعث خطر واقعی و جدی برای انسان و محیط زیست باشند، فاکتورهای

دیگری نیز باید در نظر گرفته شود:

- درجه سمیت
- چگالی و تمرکز
- پتانسیل آلاینده ها در مهاجرت به محیط زیست
- احتمال عدم مدیریت صحیح
- کمیت زباله ها

• ثبت تاریخی سلامتی انسان و آسیب های محیط زیست

تخلیه کنترل نشده آلاینده ها هم در آبهای سطحی و هم در آبهای زیرزمینی صورت می گیرد. مواد شسته شده و زهکش شده آلوده از لندفیل ها نمونه هایی از تخلیه کنترل نشده به آبهای سطحی و زیرزمینی است. در محل های دفن زباله تخلیه نتیجه یک مکانیزم طبیعی است که در آن آلاینده ها توسط آب های سطحی شسته شده و وارد منابع آب غیر آلوده می شوند. [دولتی و همکاران ۱۳۸۴]

تخلیه کنترل نشده آلاینده ها هم در آبهای سطحی و هم در آبهای زیرزمینی صورت می گیرد. مواد شسته شده و زهکش شده آلوده از لندفیل ها نمونه هایی از تخلیه کنترل نشده به آبهای سطحی و زیرزمینی است. در لندفیل ها تخلیه نتیجه یک مکانیزم طبیعی است که در آن آلاینده ها توسط آب های سطحی شسته شده و وارد منابع آب غیر آلوده می شوند.

نمونه هایی از تخلیه آلاینده های عمده که به آبهای سطحی و زیرزمینی روی می دهد را نشان می دهد که حجم رهاسازی، غلظت آلاینده ها و نوع عواملی که طبیعت تخلیه شدگی را تحت تأثیر قرار می دهند مقایسه می کند.

تخلیه کنترل نشده آلاینده ها هم در آبهای سطحی و هم در آبهای زیرزمینی صورت می گیرد. مواد شسته شده و زهکش شده آلوده از لندفیل ها نمونه هایی از تخلیه کنترل نشده به آبهای سطحی و زیرزمینی است. در لندفیل ها تخلیه نتیجه یک مکانیزم طبیعی است که در آن آلاینده ها توسط آب های سطحی شسته شده و وارد منابع آب غیر آلوده می شوند.

۱-۳-۴ برهم کنش متقابل آلاینده ها و طبیعت

بسیاری از آلاینده ها توسط جریان آب حرکت می کنند و بطور مکانیکی و پخش مولکولی منتشر می شوند. این رویه نه تنها سبب انتشار آلودگی در مسیر حرکت بلکه در اطراف مسیر نیز پراکندگی صورت می گیرد.

برای بعضی از آلاینده ها این امکان وجود دارد که مسیر طولانی را طی کند و در فضای وسیعی پراکنده شوند. برای نمونه، بعضی از توده های آلودگی بیش از ۸ مایل در طول ۳۵ سال مهاجرت کرده-اند و فضایی بیشتر از ۱۰ مایل مربع را آلوده کرده اند.

جدول ۱-۱: رها شدگی آلاینده ها به آبهای سطحی و زیرزمینی [دولتی وهمکاران ۱۳۸۴]

منبع	حجم تخلیه شدگی	غلظت آلاینده	عواملی که روی مانیزم تخلیه شدگی موثرند
حمل و نقل ریخته شدن	جزیی تا تمام محتویات تانکر حمل کننده	بالا (اغلب محصول خالص)	حوادث مربوط به آمد و شد (ترافیک)
انبار ریخته شدن نشتی‌ها	جزیی تا تمام محتویات تانکرهای انبار کننده نرخ خیلی کم	بالا (اغلب محصول خالص) بالا (اغلب محصول خالص)	گسیختگی ساختمانی تانک تناوب بازدیدها و نگهداری، سن تجهیزات انبار کننده
تصفیه آب خروجی	متغیر، اغلب بالا	پایین (نیاز به اجازه از مسئولین تصمیم گیرنده)	ورودی آبهای باطله، طراحی و عملکرد تجهیزات
لندفیل‌ها سیل آب تراوش‌های سطحی شستن و نفوذ از طریق قاعده	بطور ممکن وسیع، بستگی به بارندگی نرخ خیلی کم نرخ خیلی کم تا کم در لندفیل‌هایی که کف آنها با لایه ناتراوا پوشانده شده	کم عمدتاً رسوبات آلوده شده، صفر اگر لندفیل پوشانده باشد متوسط تا بالا متوسط تا بالا	بزرگی و گسترش لایه پوشاننده، شیب، سیلاب , ظرفیت نگهداری مشخصات لایه پوشاننده لندفیل (شیب و تراوایی)، جدا نمودن و حذف مواد شسته شده از لندفیل (مشابه بالا به علاوه نفوذپذیری قاعده لندفیل)
لاگون‌ها جریان سطحی نشت	جزیی تا تمام محتویات نرخ خیلی کم تا کم در لندفیل‌هایی که کف آنها آستر بندی شده، متوسط تا بالا برای لندفیل‌هایی که کف آنها آستر بندی نشده است	بالا (باطله های خطرناک انبار شده) بالا (باطله های خطرناک انبار شده)	گسیختگی ساختاری، جریان سیلاب نفوذ پذیری قاعده، عمق سیال

همانند تغییرات در نفوذ پذیری خاک، تاثیر جریانهای آب زیرزمینی محلی و منطقه ای معمولاً در پمپاژ آب، وجود کانال، دریاچه متفاوت است. آهنگ جریان که معمولاً بر اساس نفوذ پذیری سنگ و خاک است توسط سنجش های آزمایشگاهی به دست می آید، که معمولاً کمتر از نفوذپذیری واقعی است. علاوه بر این، نفوذ پذیری معمولاً به درجه خلوص آب نیز مربوط است، زیرا نفوذ پذیری به ترکیبات شیمیایی خاص که معمولاً با هم تفاوت زیادی دارند، بستگی دارد. مهاجرت بعضی از ترکیبات شیمیایی مشاهده شده ده برابر سریعتر از آب زیرزمینی است. علاوه بر آهنگ جریان، ترکیبات شیمیایی خاصی با تاثیر بر روی سنگ و خاک سبب ایجاد شیار در آنها شده و نفوذ پذیری آنها را افزایش می

دهد، بنابراین علاوه بر شناخت آلودگی باید از محیط اطراف آن نیز اطلاعات کافی در اختیار داشت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ و خاک و فاکتورهای بیولوژیکی بر روی حرکت و تمرکز بسیاری از مواد آلاینده خطرناک تاثیر به سزایی دارد. بعضی از آلاینده ها ضمن حرکت در خاک و یا آب رقیق تر، یا پیشروی آنها کند تر می شود. بعضی از مواد مانند فلزات سنگین بلافاصله به علت جذب ته نشین می شوند. اگر این مواد از خاک رس یا ساختارهای طبیعی مانند کود حیوانی یا گیاهی عبور کند زودتر از حرکت در شن و ماسه باز می ایستند. شن و ماسه تمیز و ریز از شن و ماسه درشت یا سنگ آهک نفوذ پذیر، میرایی بیشتری را موجب می شود. این امر سبب به تاخیر افتادن گسترش آلاینده ها می شود.

مواد اسیدی با pH پایین توسط سنگ آهک طبیعی و یا توسط اثر خنثی سازی آب دریا از بین می روند یا اثرشان بسیار کم می شود. خاصیت قلیایی محیط، باعث کاهش یا از حرکت انداختن فلزات سنگین می شود، در صورتیکه محیط اسیدی سبب افزایش سرعت فلزات می شود.

۱-۳-۵ برداشت و مکان یابی محل

بسیار ضروری است که فرد محقق محل و موقیت منطقه مورد مطالعه را تعیین نموده و اطلاعات را با دقت مناسب برداشت نماید. به علاوه این اطلاعات باید به گونه ای باشد که افراد دیگر بتوانند موقعیت این اطلاعات را با همان دقت به دست آورند. بنابراین ممکن است اطلاعاتی که توسط افراد مختلف گردآوری شده اند، با هم اختلاف داشته باشند. از طرف دیگر، در صورتیکه دقت بسیار بالا نیاز نباشد، نباید هزینه و زمان زیادی را صرف نقشه برداری محل کرد.

ضرورت و نیاز مقدار دقت و درستی اطلاعات به نوع اکتشاف و برداشت و اینکه چگونه قرار است از این اطلاعات استفاده شود بستگی دارد. در بعضی حالات، تغییرات در حدود ۱۰ فوت کمتر یا زیادتر مشکلی ایجاد نمی کند و در بعضی موارد دیگر تغییرات در حدود چند اینچ نیز بسیار مهم است. بعضی اوقات جستجوی نامنظم بدون جستجوی اولیه برای پیدا کردن یک توده دفن شده نیاز می باشد. اگر محل دفن توده به درستی شناسایی شود، ممکن است محدوده آن نیز اکتشاف شود.

۱-۳-۶ ایمنی

در عملیات *HWS* سلامت افراد و اقدامات احتیاطی باید در نظر گرفته شود. در ابتدا محل برداشت باید شناسایی شود، تا از لحاظ ایمنی و سلامتی مناسب شناخته شود. آموزشهای ویژه، تجهیزات و استانداردها باید در فعالیتهای صحرایی در نظر گرفته شود. باید در نظر داشت که با افزایش درجه ایمنی مورد نیاز هزینه برداشت صحرایی افزایش پیدا می کند.

با افزایش تعداد حفاریها در منطقه، احتمال برخورد با محل دفن زباله های خطرناک (*HWS*) بالاتر می رود. بنابراین می توان با استفاده از روشهای ژئوفیزیکی سطحی از محدوده محل دفن زباله ها آگاهی پیدا کرد تا محل حفاریها در محل مناسبی قرار گیرند.

۱-۳-۷ ترابری و غیره

از نظر موقعیت *HWS* می تواند در یک محل بسیار شلوغ واقع شده باشد و یا چندین کیلومتر تا شهر فاصله داشته باشد. امکانات و قدرت دسترسی به آن در برداشتهای *HWS* بسیار مهم است. در یک برنامه باید امکاناتی مانند فرودگاه، هتل، رستوران و همچنین بیمارستان، آتش نشانی و پلیس باید در نظر گرفته شود. آب برای نوشیدن و سرویس بهداشتی می تواند توسط تانکهای آب در محل تامین شود. شرایط آب و هوایی بر روی فعالیتهای افراد و مسائل تکنیکی تاثیر می گذارد. در صورت امکان بهتر است کار صحرایی در فصلهای مناسب سال انجام شود.

شرایط زمین در منطقه بر روی فعالیتهای افراد تاثیر گذار است. شیب تند، پوشش گیاهی زیاد و زمین نمناک و خیس می تواند در حرکت افراد و تجهیزات مشکل ایجاد کند. نه تنها دسترسی به منطقه آلوده، بلکه به اطراف آن برای دنبال کردن گسترش آلودگی و به دست آوردن اطلاعات اولیه مورد نیاز است.

۱-۳-۸ جنبه قانونی

فرد محقق باید قبل از شروع به کار، جنبه قانونی بودن پروژه را مورد بررسی قرار دهد. با آنکه بررسی های اولیه نیاز به رسیدگی زیادی ندارد، اما برای ادامه کار و تحقیقات بیشتر روی منطقه باید از لحاظ قانونی مورد بررسی قرار گیرد. در صورتیکه بررسی ها برای مرجع قضایی صورت گیرد، توجه به اسناد و مدارک مناسب، قابل پیگیری بودن نمونه ها، کالیبراسیون و آنالیز می تواند بسیار مهم باشد.

۱-۳-۹ جنبه اجتماعی

جنبه سیاسی و اجتماعی بررسی مناطق *HWS* بسیار مهم است. باید بررسی شود که آیا افراد محلی، اشخاص خاص یا صنایع با حضور افراد در محل موافق هستند یا خیر؟ آیا گزارش کار لازم است یا خیر؟ آیا فرد خاصی برای پاسخگویی لازم است یا خیر؟ آیا افراد و اشخاص مختلف می توانند در ارتباط با فعالیتهای سایت باشند یا خیر؟

۱-۳-۱۰ جنبه اقتصادی

در بعضی از موارد به علت پیچیدگیهای منطقه *HWS* و شرایط پیش بینی نشده، نمی توان امکانات و بودجه مورد نظر را به طور دقیق تعیین کرد، بنابراین بودجه و امکانات باید قابل تغییر باشد.

۱-۴ روش مقاومت ویژه

روش مقاومت ویژه برای اهدافی مانند مسائل هیدرولوژیکی، اکتشاف معدن، بررسی های ژئوتکنیکی و به تازگی در مسائل محیط زیست نیز بکار گرفته می شود [مونی، ۱۹۸۰]. با استفاده از روش مقاومت-ویژه می توان لایه های زیر سطح زمین را تعیین کرد [لوک، ۲۰۰۰]. همچنین از این روش بررسی و مطالعه سیستم های هیدروژئولوژی و شناسایی زونهای آلوده و زباله های مدفون استفاده می شود.

۱-۵ ارتباط بین زمین شناسی و مقاومت ویژه

ابتدا قبل از بحث در مورد برداشتهای مقاومت ویژه یک بعدی و دو بعدی، به مقادیر مقاومت ویژه سنگها، خاکها و دیگر کانیهای معمول می پردازیم. برداشتهای مقاومت ویژه تصویری از توزیع مقاومت ویژه زیر سطح زمین را می دهند. برای برگردان تصویر مقاومت ویژه به تصویر زمین شناسی به برخی اطلاعات در مورد مقادیر مقاومت ویژه انواع مختلف کانیهای زیر سطحی و زمین شناسی منطقه برداشت شده نیاز است.

۱-۶ رسانندگی الکتریکی سنگها

هدایت الکتریکی سنگ ها بیشتر به جنس کانی های تشکیل دهنده آنها بستگی دارد. مقاومت الکتریکی اغلب کانی ها زیاد است. مقاومت الکتریکی با درجه تراکم سنگ افزایش می یابد، و وجود خلل و فرج موجود در سنگ ها سبب تغییر در مقاومت ویژه الکتریکی آنها می باشد.

به طور کلی عواملی که در هدایت الکتریکی سنگ ها موثرند عبارتند از :

۱. وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر

۲. حجم خلل و فرج مورد در سنگ و میزان شکستگی ها

۳. قابلیت هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ

۴. حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب باشد

۵. جنس کانی های تشکیل دهنده سنگ

بنابراین مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه به وضعیت زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد. به عبارت دیگر تفکیک لایه ها بر حسب جنس آنها از نظر زمین شناسی تنها با به دست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی آنها میسر نمی باشد و در هر منطقه بایستی مقاومت ویژه تشکیلات زمین شناسی موجود در آن منطقه بطور جداگانه تعیین شود.

جریان الکتریکی به سه طریق ممکن است در سنگها و کانیها منتشر شود:

۱. رسانش الکترونی (اهمی)

۲. رسانش الکترولیتی

۳. رسانش دی الکتریکی

مورد اول نوع معمول عبور جریان از مواد دارای الکترونهاى آزاد مانند فلزات است. در الکترولیتها جریان را یونها با آهنگ آرام برقرار می کنند. رسانش دی الکتریک در رساناهای ضعیف یا رساناهایی که تعداد بسیار محدودی الکترون آزاد دارند یا اصلاً ندارند انجام می پذیرد [تلفورد ۱۳۷۵].

بیشتر سنگها رساناهای الکترولیتی هستند. سنگهایی که متخلخل نیستند و یا در صورت وجود تخلخل درز و شکافهای آن، با سیالهایی همچون آب پر نشده اند، مقاومت ویژه بسیار بالایی دارند. در اینجا انتشار جریان، توسط رسانش یونی صورت می گیرد. بنابراین مقاومت ویژه با تحرک، تراکم و درجه جدایی^۱ یونها تغییر می کند، که عامل اخیر به ثابت دی الکتریک حلال بستگی دارد.

رسانندگی یک سنگ متخلخل با حجم، آرایش خلل و فرج و حتی به مقدار زیادتری با میزان آب

¹ Dissociation

جدول ۱-۲: تغییر مقاومت ویژه با محتوای آب [تلفورد ۱۳۷۵]

سنگ	درصد آب (l.)	$\rho(\Omega m)$	سنگ	درصد آب (l.)	$\rho(\Omega m)$
سیلستون ^{۱۲}	0.54	1.5×10^4	گرانیت	0.31	4.4×10^3
سیلستون	0.44	8.4×10^6	گرانیت	0.19	1.8×10^6
سیلستون	0.38	5.6×10^8	گرانیت	0.06	1.3×10^8
ماسه سنگ دانه درشت	0.39	9.6×10^4	گرانیت	0.00	10^{10}
ماسه سنگ دانه درشت	0.18	10^8	بازالت	0.95	4×10^4
ماسه سنگ دانه متوسط	1.00	4.2×10^3	بازالت	0.49	9×10^5
ماسه سنگ دانه متوسط	1.67	3.2×10^6	بازالت	0.26	3×10^7
ماسه سنگ دانه متوسط	0.10	1.4×10^8	بازالت	0.00	1.3×10^8
دولومیت	2.00	5.3×10^3			
دولومیت	1.30	6×10^3			
دولومیت	0.96	8×10^3			

مقادیر مقاومت ویژه چندین آلاینده صنعتی نیز در جدول ۱-۳ ارائه شده است. عناصری از قبیل آهن، مقادیر مقاومت ویژه خیلی پایینی دارند. ترکیبات شیمیایی که الکترولیت قوی تشکیل می دهند از قبیل کلرید پتاسیم و کلرید سدیم می توانند مقاومت ویژه آبهای زیرزمینی را تا زیر 1 ohm-m حتی با تمرکز نسبتاً کمشان کاهش دهند. در عوض اثر الکترولیت‌های ضعیف از قبیل اسید استیک در مقایسه کمتر است. هیدروکربنها از قبیل اگزولین^{۱۳} نوعاً مقادیر مقاومت ویژه بالایی دارند. محدوده تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با دیگر کمیت‌های فیزیکی از دیگر روش‌های ژئوفیزیکی به مراتب بزرگتر است. مقاومت ویژه سنگها و خاکها در یک منطقه برداشت می تواند تا چندین برابر، تغییرات داشته باشد. در مقایسه مقادیر چگالی استفاده شده در برداشتهای گرانی-سنجی معمولاً در ضریبی کمتر از ۲ تغییر می کند و سرعت امواج لرزه‌ای معمولاً بیش از ۱۰ برابر تغییر نمی کند.

¹² Siltstone
¹³ Xylene

جدول ۳-۱: مقاومت ویژه برخی سنگها، کانیها و عناصر شیمیایی معمول [پاترا-۱۳۸۲].

عناصر	مقاومت ویژه (Ωm)	رسانندگی ($Siemen/m$)
سنگهای آذرین و دگرگونی		
گرافیت	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
بازالت	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
سلیت	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
ماربل	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
کوارتزیت	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
سنگهای رسوبی		
ماسه سنگ	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
شیل	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
سنگ آهک	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
خاکها و آبها		
خاک رس	1-100	0.01-1
آبرفت	10-800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
آب قابل شرب	10-100	0.01-0.1
آب دریا	0.2	5
عناصر شیمیایی		
آهن	9.074×10^{-8}	1.102×10^7
کلرید پتاسیم	0.708	1.413
کلرید سدیم	0.843	1.185
اسید استیک	6.13	0.163
اگزترین	6.998×10^{16}	1.429×10^{-17}

۷-۱ انتشار جریان در زمین همگن

انتشار جریان در حالت معمولی بر اساس بقاء بار الکتریکی و به وسیله رابطه زیر پایه گذاری شده

است:

$$\bar{\nabla} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho'}{\partial t} \quad (۲-۱)$$

که در آن، \vec{J} چگالی جریان (A/m^2) و ρ' چگالی بار (C/m^3) است. رابطه (۲-۱) همچنین به عنوان معادله پیوستگی شناخته می شود. برای جریان پایا معادله (۲-۱) به معادله (۳-۱) تبدیل می گردد، یعنی:

$$\bar{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \quad (۳-۱)$$

اگر ρ مقاومت ویژه ($ohm-m$) و \vec{J} چگالی جریان باشد. این دو پارامتر توسط رابطه (۴-۱) به

شدت میدان الکتریکی $E(V/m)$ مربوط می شوند که به وسیله قانون اهم به صورت زیر بیان می شود:

$$\vec{J} = \frac{\vec{E}}{\rho} = -\frac{\vec{\nabla}V}{\rho} \quad (4-1)$$

که V پتانسیل می باشد.

برای محیط ایزوتروپیک (همسانگرد)، ρ یک تابع اسکالر و J و E دو بردار هم جهت هستند. در محیط آنیزوتروپیک (ناهمسانگرد) در حالت کلی J و E هم جهت نیستند. در محیط آنیزوتروپیک قانون اهم در شرایط رسانندگی با یک تانسور ۶ مؤلفه ای متناسب است. برای یک محیط ایزوتروپیک از معادله (۳-۱) و (۴-۱) داریم:

$$\vec{\nabla} \cdot \left[\frac{1}{\rho} \vec{\nabla}V \right] = 0 \quad (5-1)$$

$$\vec{\nabla} \left[\frac{1}{\rho} \right] \times \vec{\nabla}V + \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla}V) = 0 \quad (6-1)$$

این یک معادله اساسی برای بررسی وضعیت انتشار جریان مستقیم می باشد. که در یک زمین همگن با مقاومت ویژه ρ مستقل از جهت مختصات بوده و از این رو:

$$\nabla^2 V = 0 \quad (7-1)$$

معادله (۷-۱) به معادله لاپلاس معروف است.

قبل از پرداختن به شرح انتشار جریان در زمین، معادله لاپلاس در مختصات قطبی و استوانه ای می مورد بررسی قرار می گیرد.

در حالت کلی معادله لاپلاس، در مختصات دکارتی، استوانه ای و کروی به صورت زیر می باشد:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{h_1 h_2 h_3} \left[\frac{\partial}{\partial u_1} \left(\frac{h_2 h_3}{h_1} \frac{\partial V}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial u_2} \left(\frac{h_1 h_3}{h_2} \frac{\partial V}{\partial u} \right) + \frac{\partial}{\partial u_3} \left(\frac{h_1 h_2}{h_3} \frac{\partial V}{\partial u} \right) \right] = 0 \quad (8-1)$$

مقادیر پارامترها در دستگاههای مختلف فرق می کند.

در دستگاه دکارتی داریم:

$$u_1 = x, u_2 = y, u_3 = z$$

$$h_1 = 1, h_2 = 1, h_3 = 1$$

در مختصات استوانه ای داریم:

$$u_1 = r, u_2 = \varphi, u_3 = z$$

$$h_1 = 1, h_2 = r, h_3 = 1$$

در مختصات قطبی پرامترها به صورت زیر خواهند بود:

$$u_1 = r, u_2 = \theta, u_3 = \varphi$$

$$h_1 = 1, h_2 = r, h_3 = r \sin \theta$$

در دستگاه مختصات استوانه ای معادله قبل به شکل زیر درمی آید:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(r \frac{\partial V}{\partial z} \right) \right] = 0$$

یا

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (9-1)$$

و در مختصات کروی معادله (۸-۱) به شکل زیر در می آید:

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial V}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial V}{\partial \varphi^2} \right] = 0 \quad (10-1)$$

معادلات (۹-۱) و (۱۰-۱) در سونداژ زنی و پروفیل زنی مقاومت ویژه برای به دست آوردن اطلاعاتی

از زیر سطح زمین خیلی مهم هستند [پاترا ۱۹۹۹].

با توجه به ضرورت ارزیابی توزیع پتانسیل در لایه های زمین ابتدا باید پتانسیل نرمال در سطح زمین نسبت به منشاء جریان محاسبه شود. در مختصات کروی با توجه به مقارن بودن نسبت به جهت

θ و φ معادله (۷-۱) به صورت زیر تبدیل می شود:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0 \quad (11-1)$$

با انتگرالگیری داریم:

$$V = C_1 + \frac{C_2}{r} \quad (12-1)$$

به لحاظ اینکه پتانسیل به دست آمده در فاصله بی نهایت از منبع صفر است بنابراین ثابت انتگرال $C_1 = 0$ می شود. واضح است که سطوح هم پتانسیل کروی است و خطوط میدان الکتریکی به مانند خطوط جریان شعاعی می باشد. چگالی جریان در فاصله r را می توان به صورت زیر نوشت:

$$J = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{1}{\rho} \frac{C_2}{r^2} \quad (13-1)$$

بنابراین شارش کل جریان از یک سطح کروی به شعاع r برابر است با:

$$4\pi r^2 J = \frac{4\pi}{\rho} C_2 \quad (14-1)$$

چون $4\pi r^2 J$ برابر با کل جریان وارد شده در نقطه P است ثابت C_2 با $C_2 = \frac{I\rho}{4\pi}$ برابر می شود. در نتیجه برای حالت نیم فضا، وقتی جریان را به زمین همگن تزریق می کنیم شارش کل جریان از یک سطح نیم کره به شعاع r خارج می شود یعنی $4\pi r^2 = \frac{2\pi}{\rho} C_2$ که در نتیجه ثابت C_2 برابر با $\frac{I\rho}{2\pi}$ می شود.

بنابراین پتانسیل در هر نقطه از منشا جریان در زمین همگن برابر است با:

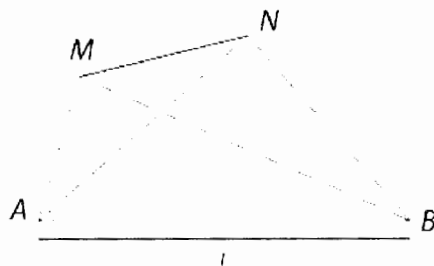
$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r} \quad (15-1)$$

۸-۱ اندازه گیری مقاومت ویژه

با در نظر گرفتن یک جریان مستقیم به شدت I که توسط دو الکترود نقطه ای A و B مطابق شکل (۳-۱) به زمین همگن و ایزوتروپ وارد می شود. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه M و N روی سطح، با

استفاده از رابطه (۱۵-۱) به صورت زیر به دست می آید:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad (16-1)$$



شکل ۳-۱: الکترودهای نقطه ای A و B ، الکترودهای جریان بوده و الکترودهای M و N الکترودهای پتانسیل می باشند.

در رابطه (۱۶-۱)، مقاومت ویژه زمین است، بنابراین مقاومت ویژه زمین همگن با اندازه گیری مقدار پتانسیل حاصل از جریان تزریقی روی سطح قابل محاسبه است.

آرایش های الکترودی مختلفی از ترتیب (A, B, M, N) برای اهداف مختلف پیشنهاد شده است. آرایشی که عموماً برای سونداژ زنی مقاومت ویژه بکار می روند شامل آرایش متقارن و آرایش دوقطبی می باشند.

بنابراین در آرایش شولومبرژه مطابق شکل (۱۴-۱):

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{4}{L-l} - \frac{4}{L+l} \right) \quad (17-1)$$

که در نتیجه:

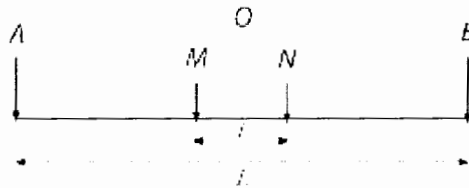
$$\rho = \frac{\pi (L^2 - l^2) \Delta V}{4 l I} \quad (18-1)$$

اگر $L > 5l$ باشد می توان با یک خطای کمتر از ۴٪ به جای $(L^2 - l^2)$ ، L^2 قرار داد. این یک امر

شناخته شده در آرایه شولومبرژه است. در این حالت مقاومت ویژه به صورت زیر حاصل می گردد:

$$\rho = \frac{\pi L^2 \Delta V}{4 l I} = \frac{\pi L^2 E}{4 I} \quad (19-1)$$

که $E = \frac{\Delta V}{l}$ تقریباً برابر شدت میدان الکتریکی در مرکز نقطه O است. بعضی اوقات آرایه شولومبرژه به عنوان گرادیانی شناخته می شود.



شکل ۱-۴: آرایه متقارن شولومبرژه

۹-۱ روشهای تفسیر

داده های حاصل از سونداژ مقاومت ویژه را می توان به دو روش تفسیر کرد:

۱. منحنیهای کمکی^{۱۴}

۲. مدلسازی رایانه ای (عددی)

۱۰-۱ منحنی های کمکی

تئوری و روش نقاط کمکی از تفسیر سونداژ شولومبرژه، با کمک منحنی های استاندارد دو لایه ای و نقشه های ابرت در سال ۱۹۶۸ توسط بتچریا و پتر ارائه شد. به نتایج این قبیل تفسیرها، تفسیر ابتدایی^{۱۵} گفته می شود، که این تفسیر ابتدایی یک تفسیر نسبتاً صحیح از پارامترهای لایه های زیرین را می دهد و چگونگی مطلوب بودن نتیجه با کنترل زمین شناسی مناسب مورد بررسی قرار می گیرد. لکن این روش، روش ترسیمی-تحلیلی برای تفسیر ابتدایی سونداژهای الکتریکی بوده و ذاتاً همراه با خطا است و مقادیر پارامترهای ژئوالکتریک به دست آمده از این طریق بطور کامل قابل اعتماد نیست. بنابراین برای ارزیابی داده ها یک معیار یا درجه ای برای سنجش میزان خطا لازم است. برای این منظور یعنی بررسی اعتبار نتایج تفسیر اولیه، این نتایج به عنوان ورودی به کامپیوتر داده شده و منحنی های سونداژ ساختگی (مصنوعی) به دست آورده می شود. مقایسه ای بین این دو منحنی (صحرائی و مصنوعی) انجام شده و تفسیر نهایی از طریق آزمون و خطا، در صورت ضرورت، صورت می گیرد.

¹⁴ Master curve

¹⁵ Preliminary interpretation

۱۱-۱ مدل‌سازی رایانه‌ای (عددی)

مدلسازی عددی به دو دسته مدل‌سازی مستقیم^{۱۶} یا پیشرو و مدل‌سازی معکوس^{۱۷} تقسیم می‌شود. برای تعریف و مقایسه این دو روش می‌توان به پدیده تغییر درجه حرارت بر حسب عمق در زیر سطح زمین اشاره کرد. اگر تغییرات درجه حرارت نسبت به عمق را خطی در نظر بگیریم، می‌توان رابطه درجه حرارت T به عمق را بصورت $T(z) = az + b$ تعریف کرد. که a و b ثابتهای عددی هستند. در صورتیکه $a=0.1$ و $b=25$ در نظر گرفته شود. فرایند پیشرو درجه حرارت را با اختصاص عمق مورد نظر به راحتی به دست می‌آورد. مسئله معکوس سازی به تعیین مقادیر a و b بر اساس اندازه گیریهای به دست آمده درجه حرارت در اعماق مختلف می‌پردازد [Menke, 1984].

بطور کلی می‌توان مفاهیم پیشرو و معکوس را به صورت زیر تعریف کرد:

در مدل‌سازی پیشرو:

d داده‌ها \rightarrow $\{M\}$ پارامترهای مدل {مدل}

$$d = A_s(m) \quad (20-1)$$

که A_s تابع عملگر فرایند پیشرو است، که به منبع s وابسته است.
در مدل‌سازی معکوس:

$\{M\}$ پارامترهای مدل {مدل} \rightarrow $\{s\}$ منابع، d داده‌ها

$$m = A_s^{-1}(d) \quad (21-1)$$

$\{s\}$ منابع، $\{M\}$ پارامترهای مدل {مدل} و منابع \rightarrow $\{d\}$ داده‌ها

یا

$$(m, s) = A^{-1}(d) \quad (22-1)$$

که A^{-1} و A_s^{-1} توابع عملگر فرایند مدل‌سازی معکوس هستند.
در صورتیکه معادله (۲۲-۱) برای میدانهای الکترومغناطیس و صوتی بکار رود، معمولاً تحت نام

¹⁶ Forward modeling

¹⁷ Inverse modeling

مسئله پراکندگی معکوس^{۱۸} مطرح می شود.

در بعضی از کاربردهای ژئوفیزیکی، مسئله معکوس سازی به گونه ای فرمول سازی می شود که در آن توجه تنها به منبع تولید میدان است، [Zhdanov-2002] یعنی:

{ s منابع } مدل \rightarrow { d داده ها }

$$s = A^{-1}d \quad (23-1)$$

معادله (۲۳-۱) به نام مسئله معکوس سازی منبع^{۱۹} نامیده می شود. در این حالت فرض بر این است که پارامترهای مدل (خصوصیات فیزیکی) شناخته شده اند. به عنوان مثالهایی برای این قبیل مسائل می توان به مسئله معکوس سازی گرانشی^{۲۰} و مسئله معکوس سازی زلزله^{۲۱} اشاره کرد [Zhdanov-2002]. در تمام مسائل معکوس سازی سه پرسش مهم مطرح است:

۱. آیا مسئله معکوس سازی به جواب می رسد؟

۲. آیا جواب به دست آمده یکتا است؟

۳. آیا این جواب پایدار می باشد یا خیر؟

در فرایند پیشرو با فرض پارامترهای مدل، پاسخ مدل را تولید کرده و با داده های اندازه گیری شده مقایسه می شود و پس از تعیین مقدار خطا، تعدیل و اصلاح مدل بهترین برازش با داده های اندازه گیری شده را مدل نهایی در نظر می گیرند.

در مدلسازی معکوس، با استفاده از داده های صحرائی و تبدیل آن به پارامترهای مدل، مدل اولیه را تولید کرده و با استفاده از روش پیشرو پاسخ مدل را به دست آورده و با داده های صحرائی مقایسه می کنند. و در نهایت با توجه به زمین شناسی منطقه مدلی را که بهترین برازش با داده های صحرائی دارد به عنوان مدل نهایی در نظر می گیرند. باید به این نکته توجه داشت که در روش معکوس سازی مدلهای زیادی را می توان از داده های صحرائی به دست آورد که با توجه به زمین شناسی منطقه می توان پاسخهای به دست آمده را محدود کرد، تا به مدل مطلوب دست پیدا کنیم.

¹⁸ Inverse scattering problem

¹⁹ Inverse source problem

²⁰ Inverse gravity problem

²¹ Inverse seismological problem

۱-۱۱-۱ اصول مدلسازی معکوس

در معکوس سازی ژئوفیزیکی، به دنبال مدلی هستیم که جواب آن بیشترین شباهت را با داده های اندازه گیری شده داشته باشد. پارامترهای مدل همان کمیت‌های فیزیکی هستند که از داده های اندازه گیری شده به دست می آید. پاسخ مدل مرکب از اطلاعاتی است که توسط روابط ریاضی تعریف شده برای مجموعه ای از پارامترهای مدل محاسبه می شود.

در تمام مدل‌های بهینه سازی، مدل اولیه بر اساس رفتار تعاملی اصلاح می گردد، تا اختلاف بین پاسخ مدل و داده های برداشت شده به حداقل برسد. مجموعه داده های مشاهده ای توسط یک بردار ستونی تعریف می شود:

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (24-1)$$

که در آن m تعداد اندازه گیریها است.

پاسخ مدل بصورت زیر نمایش داده می شود:

$$\vec{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (25-1)$$

برای مسائل مقاومت ویژه، استفاده از داده های لگاریتمی مقاومت ویژه ظاهری برای داده های

مشاهده ای و پاسخ مدل مرسوم است.

پارامترهای مدل بصورت بردار ستونی q نمایش داده می شود:

$$\vec{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} \quad (26-1)$$

که در آن n تعداد پارامترهای مدل است.

اختلاف بین داده های مشاهده ای و پاسخ مدل توسط بردار g تعریف می شود:

$$\vec{g} = \vec{y} - \vec{f} \quad (27-1)$$

در روش حداقل مربعات، مدل اولیه به گونه ای اصلاح می شود که جمع مربع خطاهای e ناشی از اختلاف پاسخ مدل و داده های مشاهده ای به حداقل برسد:

$$e = \vec{g}^T \vec{g} = \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (28-1)$$

برای کاهش حداقل مربعات، مدل گاوس-نیوتن²² برای پارامترهای مدل که منجر به کاهش مقدار حداقل مربعات می شود، مورد استفاده قرار می گیرد:

$$\vec{J}^T \vec{J} \Delta q_i = \vec{J}^T \vec{g} \quad (29-1)$$

که در آن Δq پارامترهای مدل، \vec{J} ماتریس ژاکوبین ($m \times n$) از مشتقات جزئی است. عناصر ماتریس ژاکوبین به صورت زیر به دست می آید:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (30-1)$$

که تغییر در i امین پاسخ مدل در اثر تغییر j امین پارامتر مدل است. بعد از محاسبه تغییر بردار پارامترها، مدل جدید به دست می آید:

²² Gauss-newton

$$\bar{q}_{k+1} = \bar{q}_k + \Delta \bar{q}_k \quad (31-1)$$

در عمل، معادله حداقل مربعات به ندرت در معکوس سازی ژئوفیزیکی کاربرد دارد. در بعضی مواقع دترمینان ضرب ماتریس $|\bar{J}^T \bar{J}| = 0$ و یا به عبارتی ضرب ماتریس $\bar{J}^T \bar{J}$ ، یکه^{۲۳} می شود. بنابراین معادله حداقل مربعات، پاسخی برای Δq ندارد. مسئله بعدی این است که ضرب دترمینان ماتریس $|\bar{J}^T \bar{J}| \cong 0$ ممکن است نزدیک به صفر باشد که دلیل آن ضعف مدل اولیه است که اختلاف زیادی با مدل بهینه دارد. یک روش معمول برای اجتناب از مشکل اصلاح مارکوارت-لونبرگ^{۲۴} برای معادله گاوس-نیوتن است:

$$(\bar{J}^T \bar{J} + \lambda \bar{I}) \Delta \bar{q}_k = \bar{J}^T \bar{g} \quad (32-1)$$

که I ماتریس یکه است. فاکتور λ به عنوان فاکتور تعدیل یا مارکوارت نامیده می شود و این روش بنام روش ریگرسیون - ریج شناخته می شود. فاکتور تعدیل، بازه مقدار مؤلفه های بردار تغییر پارامتر یعنی Δq را به طور مؤثری مقید می کند. در معادله (۱-۲۹) روش گاوس-نیوتن تنها جمع مربعات را به حداقل می رساند، در حالیکه روش اصلاحی مارکوارت - لونبرگ می تواند ترکیبی از مقدار اختلاف بردار و تغییر پارامتر بردار را به حداقل برساند. این روش برای معکوس سازی داده های سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی با تعداد لایه های کم موثر است. در صورتیکه تعداد پارامترهای مدل مانند مدلسازی معکوس دو بعدی و سه بعدی، زیاد باشد سبب می شود تا دارای توزیع غیرعادی مقاومت ویژه، یا مناطق کاذب با مقاومت ویژه بالا یا پایین باشد. برای حل این مسئله، معادله کمترین مربعات گاوس - نیوتن با قید هموار بودن پارامترهای مدل برای به حداقل رساندن تغییر پارامترهای مدل بکار گرفته می شود، این روش حداقل مربعات هموار و محدود، به صورت زیر می باشد: [لوک ۲۰۰۰]

$$(\bar{J}^T \bar{J} + \lambda \bar{F}) \Delta \bar{q}_k = \bar{J}^T \bar{g} - \lambda \bar{F} \bar{q}_k \quad (33-1)$$

که

²³ Singular

²⁴ Marquardt - Levenberg

$$\vec{F} = \alpha_x \vec{C}_x^T \vec{C}_x + \alpha_y \vec{C}_y^T \vec{C}_y + \alpha_z \vec{C}_z^T \vec{C}_z \quad (34-1)$$

که $\vec{C}_x, \vec{C}_y, \vec{C}_z$ ماتریسهای هموار در جهت های x, y, z هستند. $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ نسبتهای وزنی برای فیلترهای هموار سازی در جهت محورهای مختصات است. یکی از ماتریسهای هموار معمول ماتریس تفاضل مرتبه اول است، که در زیر آورده شده است:

$$\vec{C} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ & & & \dots & & & & \\ & & & & \dots & & & \\ & & & & & \dots & & \\ & & & & & & \dots & \\ & & & & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (35-1)$$

معادله (33-1) سعی دارد که مربع تغییرات فضایی یا ناهمواری داده های مقاومت ویژه مدل را به حداقل برساند. این روش زمانی قابل قبول است که مقاومت ویژه زیر سطحی به آرامی تغییر کند. در بعضی موارد، زمین شناسی زیر سطحی شامل مناطقی همگن با مرزهای تیز می باشد. برای چنین مواردی، فرمول معکوس سازی در (33-1) می تواند اصلاح شود، تا تغییرات مطلق در مقادیر مقاومت ویژه را به حداقل برساند (کلربات و میور²⁵ 1973). این روش را روش مدلسازی معکوس می نامند. تکنیکهای دیگری برای اصلاح این روش وجود دارد، یکی از روشهای ساده روش وزن دهی حداقل مربعات است. و در نتیجه معادله (33-1) به فرم زیر در می آید:

$$(\vec{J}^T \vec{J} + \lambda \vec{F}_R) \Delta \vec{q}_k = \vec{J}^T R_d \vec{g} - \lambda \vec{F}_R \vec{q}_k \quad (36-1)$$

بطوریکه :

$$\vec{F}_R = \alpha_x \vec{C}_x^T R_m \vec{C}_x + \alpha_y \vec{C}_y^T R_m \vec{C}_y + \alpha_z \vec{C}_z^T R_m \vec{C}_z \quad (37-1)$$

که در روابط (36-1) و (37-1) R_d, R_m ماتریسهای وزن دهی هستند.

معادله (۳۶-۱) رابطه ای کلی است، که اگر اطلاعات زمین شناسی و غیره در اختیار باشد قابلیت اصلاح و تغییرات بیشتر را نیز دارد.

۱-۱۲ حرکت آبهای زیر زمینی

معادله مشتقات جزئی حاکم بر حرکت آب زیر زمینی در یک فضای سه بعدی به شکل زیر می باشد [دولتی و همکاران ۱۳۸۴]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳۸-۱)$$

که در آن K_{xx} ، K_{yy} و K_{zz} مقادیر هدایت هیدرولیکی در جهت های x ، y و z می باشد. که معمولاً موازی با محورهای مختصات در نظر گرفته می شود $[L/T]$.

h : هد هیدرولیکی $[L]$

W : مقدار آب ذخیره شده یا برداشت شده می باشد. در صورتیکه $W > 0$ باشد، جریان به خارج از سیستم آب زیرزمینی می باشد و اگر $W < 0$ باشد جریان به داخل سیستم می باشد $[T^{-1}]$.
 S_s : ضریب ذخیره آبخوان می باشد $[L^{-1}]$.
 t : متغیر زمانی است $[T]$.

در صورتیکه این معادله با شرایط مرزی و اولیه ترکیب شود می تواند حرکت آب زیرزمینی را در سه بعد نشان دهد، با این فرض که هدایت هیدرولیکی در راستای محورهای مختصات باشد. برای حل این معادله می توان از روش های تفاضل محدود، اجزاء محدود و المان حجمی محدود استفاده کرد.

۱-۱۳ حرکت آلودگی در سیستم جریان آبهای زیرزمینی

زمانی که یک آلاینده به آبهای زیرزمینی وارد می گردد این آلاینده تحت تاثیر عوامل زیر در آبهای زیرزمینی حرکت می کند:

- انتقال همراه جریان که در نتیجه جریان آب ایجاد می گردد. این پدیده انتقال آلودگی را

پهنرفت^{۲۶} می نامند.

- پراکندگی^{۲۷} که در اثر پراکندگی مکانیکی و پخش مولکولی ایجاد می شود.
- تاخیر^{۲۸} که در اثر فرایند جذب ایجاد می شود.
- تجزیه و کاهش در اثر واکنش ها^{۲۹}

۱-۱۴ انتقال همراه با جریان

حرکت آب باعث انتقال آلودگی موجود در سفره به همراه جریان و با همان سرعت آب می گردد این حرکت آب طبق قانون دارسی صورت می پذیرد که مطابق با این قانون جهت جریان از هد هیدرولیکی بیشتر به کمتر است.

$$V = -K \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (۳۹-۱)$$

در این رابطه K ، نشان دهنده ضریب هدایت هیدرولیکی، V سرعت دارسی و $\frac{\Delta h}{\Delta X}$ گرادیان هیدرولیکی می باشد. میزان ماده آلاینده منتقل شده بر حسب زمان و مکان متغیر است که معادله آن به صورت زیر می باشد.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -V \frac{\partial C}{\partial x} \quad (۴۰-۱)$$

۱-۱۴-۱ پراکندگی

پراکندگی در اثر دو عامل پخش مولکولی و پراکندگی مکانیکی ایجاد می شود. پخش مولکولی فرآیندی است که در آن یونها یا ساختار مولکولی تحت تاثیر فعالیت جنبشی در جهت گرادیان غلظت حرکت می نمایند. در چنین شرایطی حرکت اجزاء از نواحی با غلظت بالا به نواحی با غلظت پایین

-
- 1-Advection
 - 2-Dispersion
 - 3-Retardation
 - 4-Reaction

صورت می‌گیرد که پدیده پخش مولکولی بوسیله قانون اول فیک^{۳۰} بیان می‌شود:

$$F = -D_f \frac{dc}{dx} \quad (41-1)$$

در این رابطه F نشان دهنده تغییر جرم بر واحد سطح بر واحد زمان، D_f ضریب پخش و $\frac{dc}{dx}$ گرادیان غلظت می‌باشد.

در مواقعی که غلظت تابعی از زمان می‌باشد می‌توان از قانون دوم فیک برای بیان پدیده پخش استفاده نمود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_f \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (42-1)$$

روابط (41-1) و (42-1) وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که محیط حرکت ماده آلاینده تنها آب باشد. زمانی که ماده در محیط متخلخل حرکت می‌کند بدلیل اینکه یونها باید مسیر طولانی تری را بین اجزای جامد و به علت پدیده جذب طی نمایند ضریب پخش اصلاح شده طبق رابطه (43-1) محاسبه می‌گردد [مشهدی ۱۳۸۲]:

$$D^* = W.D_f \quad (43-1)$$

در این رابطه D^* ضریب پخش اصلاح شده، W ($W < 1$) ضریب تجربی است که از طریق روش‌های آزمایشگاهی به دست می‌آید.

پراکندگی مکانیکی در نتیجه تغییرات سرعت در محیط متخلخل صورت می‌پذیرد. سرعت در مرکز فضای متخلخل بیشتر از لبه‌ها می‌باشد در نتیجه انتشار و پراکندگی مکانیکی در هر دو جهت طولی و عرضی صورت می‌پذیرد که از روابط زیر به دست می‌آید:

$$D_{11} = a_1.V \quad (44-1)$$

$$D_{22} = a_T \cdot V \quad (45-1)$$

در این روابط D_{11} و D_{22} به ترتیب بیانگر مقادیر پراکندگی مکانیکی طولی و عرضی، a_T و a_L به ترتیب ضرایب پراکندگی طولی و عرضی و V میانگین سرعت آب در محیط متخلخل می‌باشد. به دلیل این که پخش مولکولی و پراکندگی مکانیکی را نمی‌توان از یکدیگر جدا ساخت ضرایب پراکندگی هیدرودینامیکی طولی و عرضی، (D_T, D_L) که از روابط زیر به دست می‌آید در نظر گرفته می‌شود.

$$D_L = D_{11} + D_f = a_L \cdot V + D^* \quad (46-1)$$

$$D_T = D_{22} + D_f = a_T \cdot V + D^* \quad (47-1)$$

در این صورت با در نظر گرفتن اثرات پراکندگی و پهنرفت معادله زیر به دست می‌آید که به معادله پراکندگی پهنرفت^{۳۱} معروف است:

$$D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_T \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (48-1)$$

۲-۱۴-۱ تاخیر

در حین حرکت یک آلاینده در سیستم جریان آب‌های زیرزمینی امکان جذب سطحی^{۳۲} مواد جامد آلی و غیر آلی توسط خاک وجود دارد. اثر اصلی این جذب کاهش سرعت حرکت آلودگی بوده که توسط ضریب تاخیر تخمین زده می‌شود. این فاکتور می‌تواند بر پایه ضرایب جذب یا توزیع آلودگی و بر پایه تخلخل متوسط محاسبه شود:

$$R = \left[1 + K_d \frac{\rho_b}{n} \right] \quad (49-1)$$

³¹ Advection-dispersion equation
۲-Adsorption

در این رابطه K_d ضریب توزیع^{۳۳}، ρ_b چگالی خشک خاک و R عامل تاخیر^{۳۴} و n تخلخل متوسط خاک می باشد سرعت حرکت آلودگی در سفره از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_c = \frac{V}{R} \quad (50-1)$$

این رابطه نشان می دهد که اگر مقدار فاکتور تاخیر بالا باشد ضریب جذب نیز بالا بوده و به طور عمده باعث تاخیر در حرکت آلودگی در آب های زیرزمینی می شود.

۳-۱۴-۱ واکنش شیمیایی

نوع و غلظت آلاینده های موجود در سفره ممکن است در نتیجه تاثیر واکنش های شیمیایی تغییر نماید بدین معنی که ممکن است برخی از مواد از بین رفته و مواد جدیدی بوجود آید. اثر واکنش شیمیایی می تواند مطابق رابطه (۵۱-۱) زیر باشد [مشهدی ۱۳۸۲]:

$$R_d = \frac{\rho_b}{n} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} - \lambda(C + \frac{\rho_b}{n} \bar{c}) \quad (51-1)$$

در این رابطه \bar{c} غلظت آلاینده جذب شده در خلل و فرج و λ عدد ثابت واکنش درجه یک می باشد. بادر نظر گرفتن فرایندهای فیزیکی (پهنرفت و پراکندگی) و واکنش شیمیایی موثر در انتقال، معادله اساسی حرکت آلاینده در سفره و در حالت سه بعدی به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (C v_i) + \frac{q_s}{n} C_0 + R_d = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (52-1)$$

$$V_i = \frac{-K_{ij}}{n} \frac{\partial h}{\partial x_j} \quad (53-1)$$

در روابط فوق C ، نشان دهنده غلظت آلاینده حل شده در آب زیرزمینی، D_{ij} مولفه ضریب پراکندگی هیدرودینامیکی، V_i میانگین سرعت آب در جهت x_i ، q_s ، تغییر حجم آب در واحد حجم در

2-Distribution Coefficient
³⁴ Retardation factor

سفره، علامت مثبت برای منبع جریان (*source*) و علامت منفی برای دریافت کننده جریان (*sink*)، C_0 غلظت در منبع جریان یا دریافت کننده جریان n تخلخل متوسط خاک، R_d گزینه مربوط به واکنش شیمیایی و K_{ij} مولفه ضریب هدایت هیدرولیکی می‌باشد.

با توجه به روابط (۱-۴۹) و (۱-۵۱) رابطه (۱-۵۲) را به شکل زیر می‌توان نوشت:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} [Cv_i] + \frac{q_s}{n} C_0 - \lambda \left(C + \frac{\rho_b}{n} \bar{c} \right) = R \frac{\partial C}{\partial t} \quad (۱-۵۴)$$

با توجه به این که حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان آب و انتقال آلاینده در سیستم جریان آب‌های زیرزمینی در شرایط معمول مشکل می‌باشد استفاده از روش‌های عددی در حل این معادلات بسیار مفید می‌باشد که یکی از رایج ترین نرم افزارها در زمینه مدل‌سازی، نرم افزار *GMS* می‌باشد.

۱-۱۵ سوابق مطالعات انجام شده و ضرورت آن

در منطقه دفن زباله های شهر اراک با انجام ۵۰ سونداژ الکتریکی در طول ۷ پروفیل با فاصله الکترودهای فرستنده جریان حداکثر ۱۰۰۰ متر به روش سونداژ الکتریکی قائم انجام شده است. عملیات صحرائی این مطالعات توسط گروه ژئوفیزیک دانشگاه اراک صورت گرفته است. تعبیر و تفسیر داده های صحرائی به صورت دستی و با استفاده از منحنی های کمکی توسط آقای دکتر محمود میرزائی با همکاری آقای دکتر فریدون قدیمی و آقای سید محمد ابراهیمی انجام شده است.

اما از آنجا که تفسیر داده ها دستی و یک بعدی بوده، نمی تواند تصویر خوبی از آلودگی و گسترش آن در منطقه در اختیار ما قرار دهد. بنابراین با استفاده از روشهای مدل‌سازی رایانه ای برای تفسیر داده ها، می توان تفسیر کامل و جامعی را برای منطقه دفن زباله ها انجام داد. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از نرم افزارهای مدل‌سازی یک، دو و سه بعدی تغییرات مقاومت لایه ها و در نتیجه لایه بندی زمین بدست آید سپس با استفاده از نتایج حاصل از آن مدل حرکت آلودگی را بدست آورده تا بتوان حرکت آن را برای سالهای آینده پیش بینی کرد.

۱-۱۶ اهداف

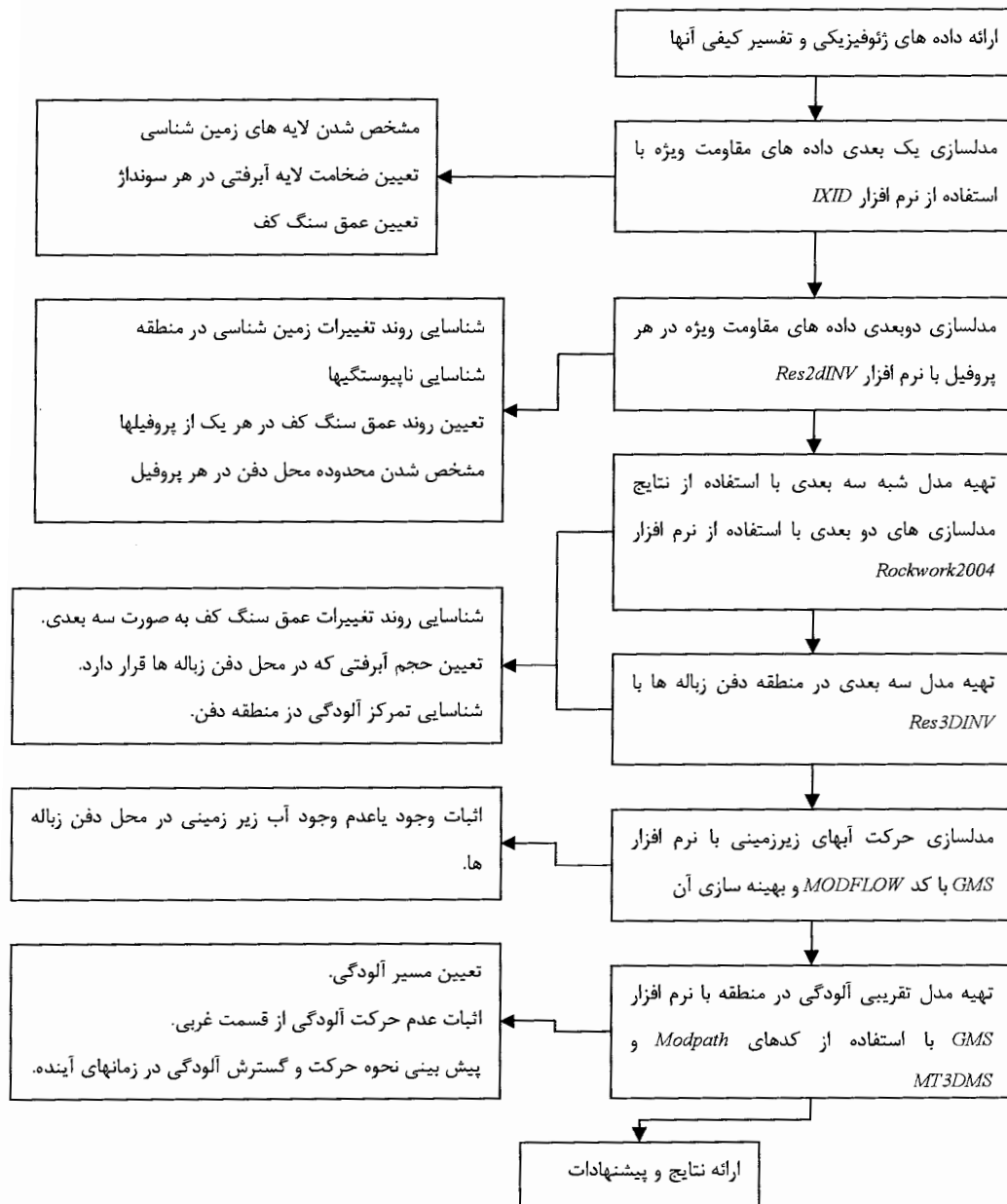
هدف از انجام این مطالعات دستیابی به موارد زیر است:

۱. تفکیک لایه ها به لحاظ مقاومت الکتریکی در طول پروفیلها.
۲. تعیین ضخامت رسوبات آبرفتی در محدوده مورد مطالعه.
۳. تعیین عمق سنگ کف در امتداد پروفیلهای انجام شده.
۴. شناسایی و مشخص نمودن ناپیوستگی های احتمالی.
۵. تعیین وجود و یا عدم وجود آبهای زیرزمینی و معابر عبور و جهت حرکت آنها.
۶. شناخت زون آلوده موجود، جهت حرکت و گسترش آلاینده ها.
۷. مدلسازی حرکت آلودگی و پیش بینی حرکت و گسترش زون آلوده در سالهای آینده.

۱-۱۷ روش تحقیق

شکل ۱-۵، به صورت یک فلوجارت مراحل و روش انجام تحقیق انجام شده در این پایان نامه را نشان

می دهد.



شکل ۱-۵: فلوجارت مراحل انجام شده در پایان نامه

۱-۱۸ ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل می باشد که مطالب هر بخش در زیر آمده است:

- فصل اول کلیات مربوط به شرایط مطالعه در محل دفن زباله ها را بیان می کند. روش مقاومت ویژه و مدلسازی روی داده های ژئوفیزیکی را معرفی می نماید و عوامل موثر در انتقال آلودگی و مدلسازی آن را تشریح می نماید.

- فصل دوم به کلیاتی درباره زمین شناسی منطقه و موقعیت جغرافیایی آن، پتانسیل های آبی منطقه و بارش های جوی در منطقه اشاره دارد.

در فصل سوم داده های ژئوالکتریک مورد تفسیر یک، دو و سه بعدی و تفسیر آنها قرار می گیرند. فصل چهارم شاکل مدلسازی کمی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه و فرایند مدلسازی کیفی حرکت آلودگی می باشد.

فصل پنجم نتایج بدست آمده در این تحقیق را بیان داشته و پیشنهاداتی نیز در جهت کمک به پیشگیری گسترش آلودگی ارائه می گردد.

فصل دوم

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

۱-۲ مقدمه

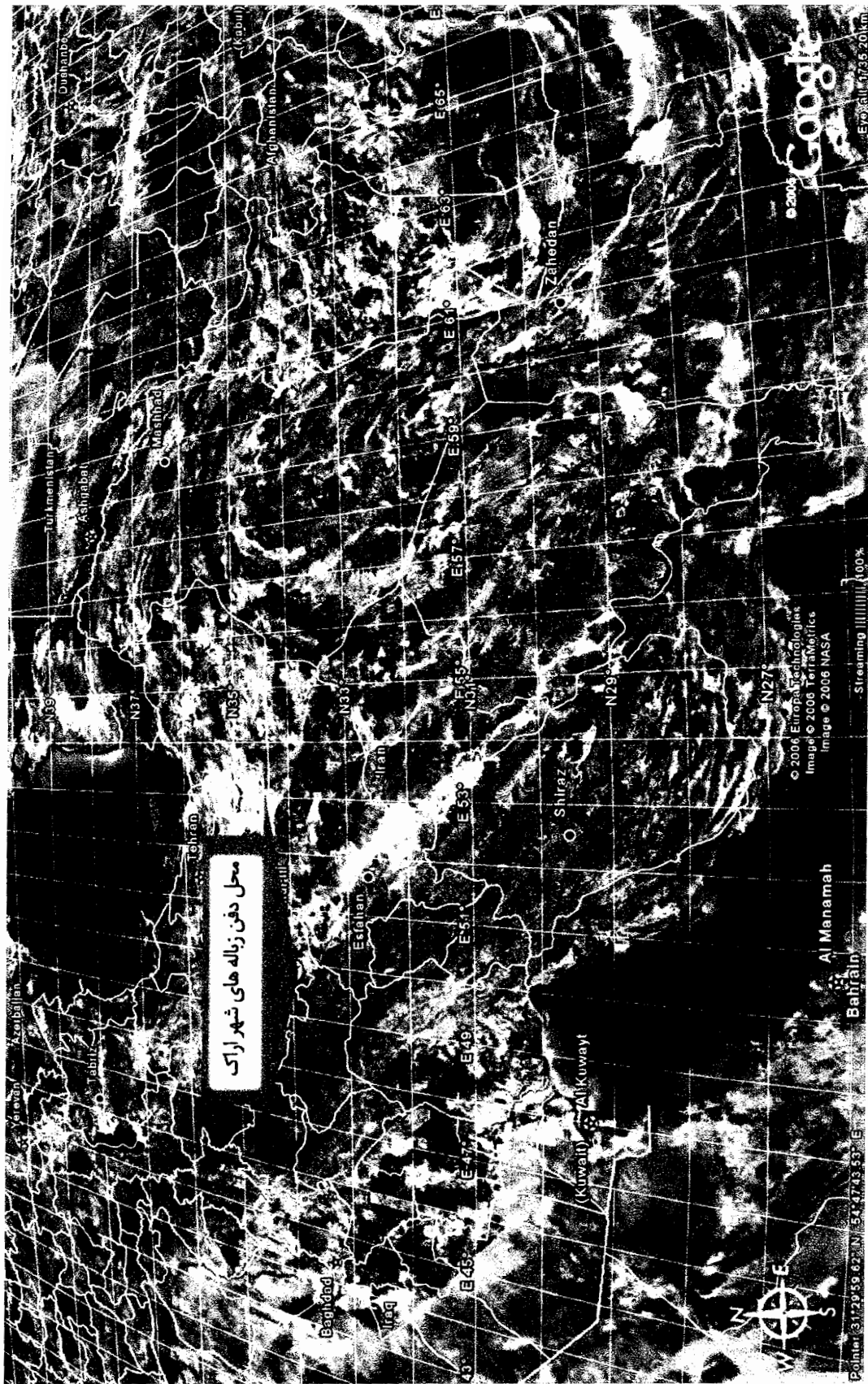
شناخت و ارزیابی دقیق منابع طبیعی موجود در هر حوزه و بررسی عوامل موثر بر آنها، ما را شناخت هر چه بهتر از منطقه یاری می کند. بنابراین در این فصل خصوصیات و ویژگیهای منطقه از جمله موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی منطقه، هیدرولوژی و فیزیوگرافی مورد بحث قرار می گیرند. تا پیش زمینه مناسبی نسبت به منطقه جهت تحقیقات ژئوفیزیکی و تفسیر داده های آن پیدا شود.

۲-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه

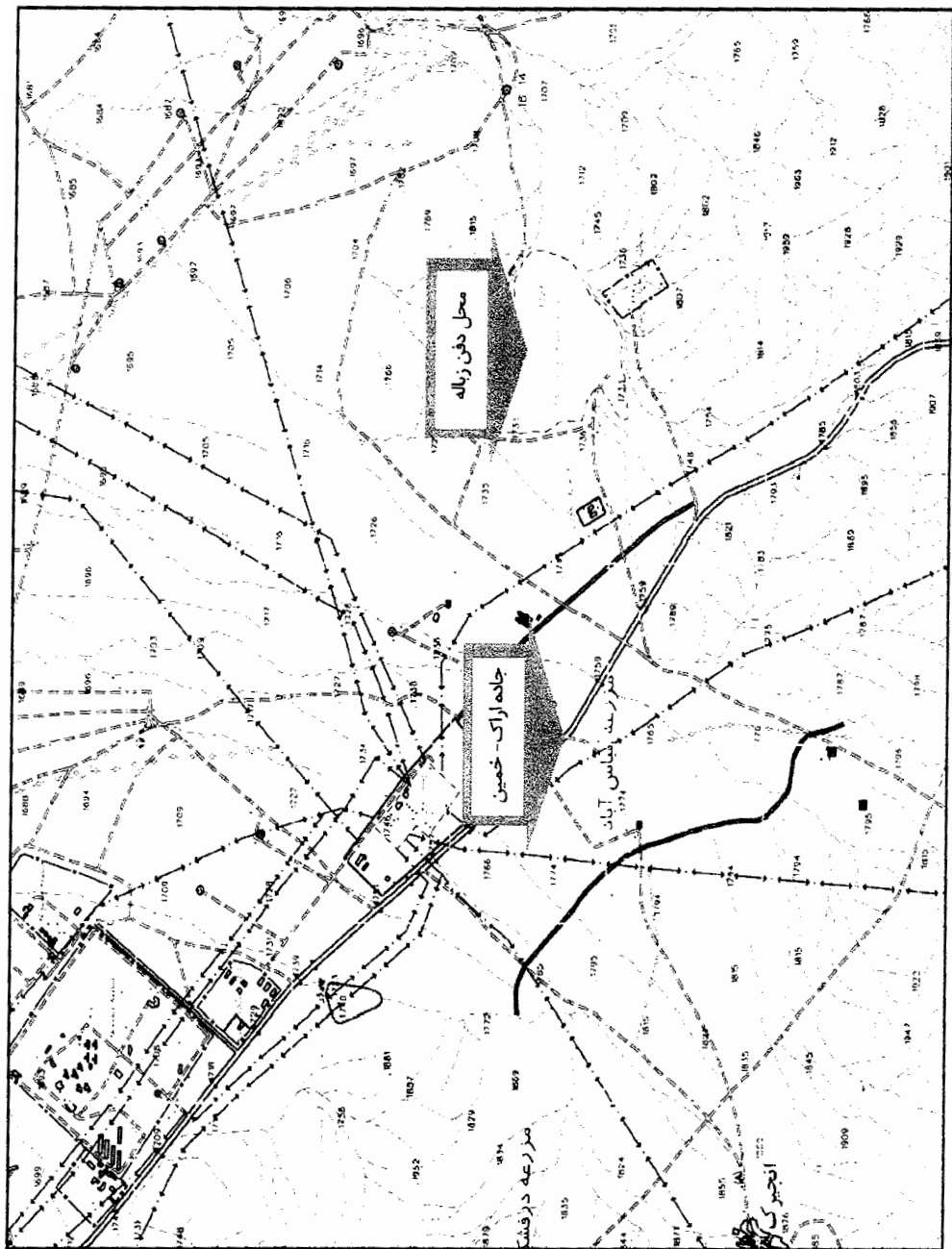
حوضه آبریز سوارآباد (محل دفن زباله) با مساحتی برابر ۵۸ کیلومتر مربع از لحاظ تقسیمات کشوری در استان مرکزی، (شکل ۱-۲) از لحاظ تقسیمات استانی در (بخش مرکزی) شهرستان اراک دهستان امان آباد و از لحاظ مختصات *UTM* بین طولهای ۳۸۶۵۵۳/۵۲ تا ۳۹۸۳۰۲/۱۱ و عرضهای ۳۷۵۶۳۲۰/۷۳ تا ۳۷۶۹۰۳۱/۷۴ واقع گردیده است.

۳-۲ راههای دسترسی

با توجه به واقع شدن این حوضه در نزدیکی شهر اراک، امکان دسترسی به حوضه از طریق جاده آسفالته اراک - خمین (که از غرب حوضه عبور می کند) و دیگر جاده های فرعی این مسیر امکان پذیر است. شکل ۲-۲، کروکی راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه را روی نقشه توپوگرافی نشان می دهد.



شکل ۱-۲: موقعیت محل دفن زبانه های شهر اراک در نقشه ایران [GoogleEarth 2006]



Scale 1:25000
مقیاس ۱:۲۵۰۰۰

شکل ۲-۲: راههای دسترسی به محل دفن زباله های شهر آراک [سازمان نقشه برداری ۱۳۷۸]

۴-۲ زمین شناسی منطقه

حوزه آبخیز سوار آباد در بخش شمالی زون دگرگونی سنندج - سیرجان واقع شده است. واحدهای سنگی و آبرفتی آن مربوط به دوران دوم و چهارم زمین شناسی می باشند. که شامل دو واحد سنگی با سن کرتاسه، یک واحد سنگی دیگر با سن نامشخص و دو واحد آبرفتی مربوط به کواترنری است. واحدهای سنگی منطقه شامل اسلیت و سنگ آهک بلورین (*kst*) است. که در ارتفاعات منطقه گسترش

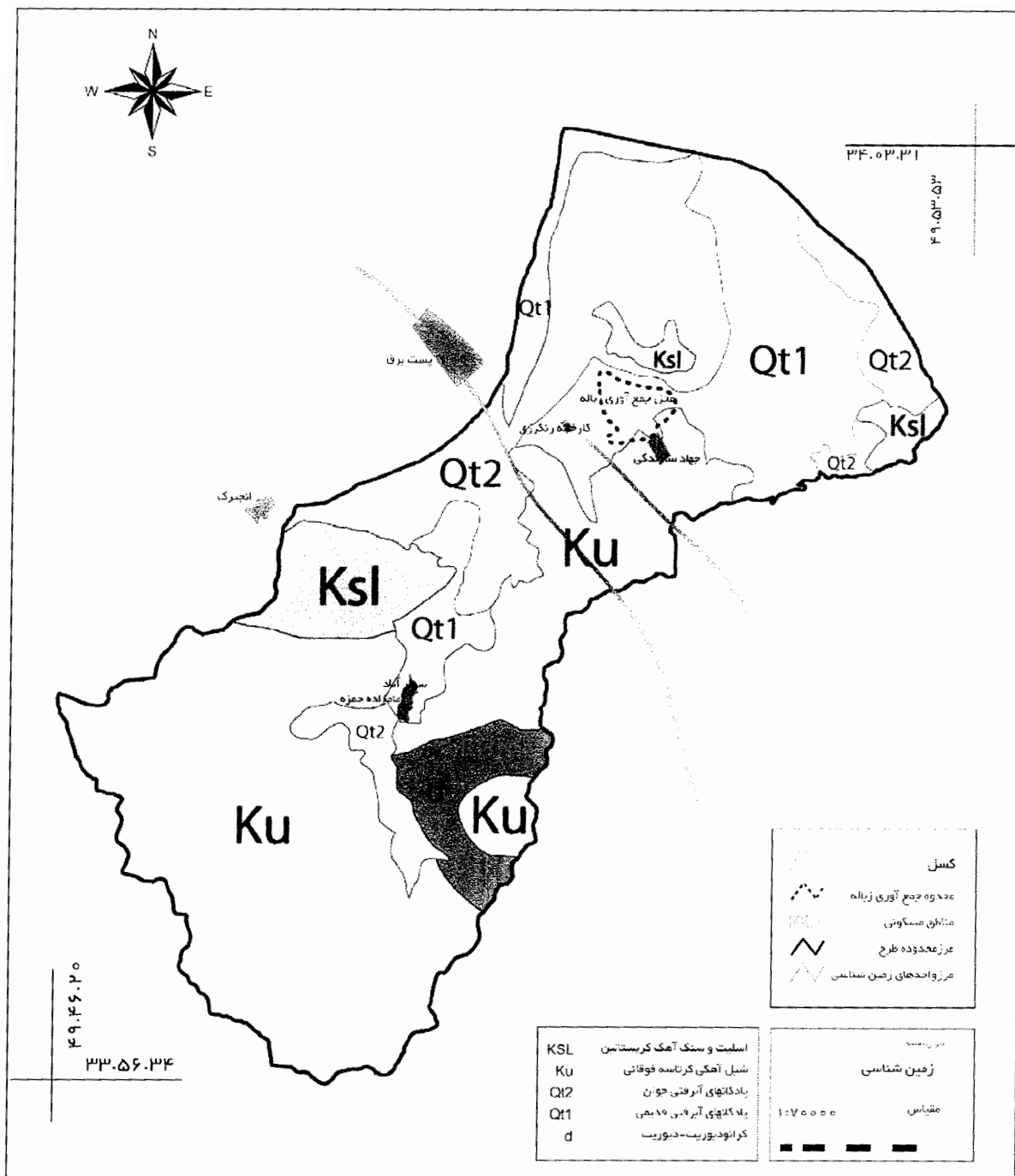
وسیعی دارند و از نظر سنی مربوط به کرتاسه میانی می باشد. واحد شیل آهکی (ka) مربوط به کرتاسه فوقانی و واحد گرانودیوریت و دیوریت (d) دارای سن نامشخص است واحد پادگانه های آبرفتی قدیمی ($Qt1$) و پادگانه های آبرفتی جوان ($Qt2$) نیز با سن کواترنری بخش وسیعی از حوزه مورد مطالعه را تشکیل می دهند ژئومورفولوژی حوزه شامل سه واحد کوهستان - تپه ماهور و نهشته های آبرفتی است که در این میان واحد آبرفت بیشترین و واحد تپه ماهور کمترین مساحت را بخود اختصاص می دهند. دامنه های موجود در واحدهای ارتفاعات و تپه ماهور همگی از نوع نامنظم می باشند. با توجه به گسترش زیاد واحد آبرفتی در سطح حوضه نفوذ پذیری از وضعیت مناسبی در منطقه برخوردار است. (شکل ۲-۳)

۲-۵ چینه شناسی :

واحدهای چینه ای منطقه مورد مطالعه به قرار زیر است:

۲-۵-۱ واحد اسلیت و آهک متبلور (Ksl):

این واحد سنگی شامل تناوبی از اسلیت و آهک متبلور است که در ارتفاعات غربی حوزه رخنمون دارد. این واحد از نظر سنی متعلق به کرتاسه میانی است و نمایانگر رسوبگذاری در محیط نسبتاً عمیق تا کم عمق دریا می باشد. لایه بندی از نوع لایه متوسط تا ضخیم لایه است. رنگ آن در اکثر مناطق به خاکستری و نخودی شباهت دارد. امتداد طبقات این واحد بصورت شمالغرب - جنوبشرق است و جهت شیب طبقات به سمت شمال و غرب می باشد تماس فوقانی آن با واحد شیل آهکی (Ku) به صورت واضح است. اختلاف رنگ و اختلاف در میزان پوشش تخریبی دامنه ها بهترین مشخصه تماس می باشد.



شکل ۲-۳: زمین شناسی و نقشه واحدهای سنگی شامل محل جمع آوری زباله شهر اراک (میرزایی، ۱۳۸۲)

۲-۵-۲ واحد شیل آهکی کرتاسه فوقانی (Ku)

واحد شیل آهکی یکی دیگر از واحدهای زمین شناسی حوزه است که از نظر سنی متعلق به کرتاسه فوقانی می باشد و بیانگر رسوبگذاری در محیط کم عمق دریایی است. لایه بندی در اکثر مناطق بصورت

توده ای می باشد و به ندرت لایه بندی خیلی ضخیم در آن به چشم می خورد رنگ آن خاکستری تیره تا سیاه می باشد که بیانگر وجود مواد آلی در ترکیب آن است. این امر نمایانگر رسوبگذاری در یک محیط احيایی صورت گرفته و سطح سنگهای این واحد بسیار زبر و خشن می باشد. امتداد طبقات بصورت شمالغرب - جنوبشرق است و شیب طبقات به سمت غرب و شمال می باشد. این واحد تپه ها و ارتفاعات منطقه را تشکیل می دهد.

۲-۵-۳ واحد گرانودیوریت و دیوریت (d)

این واحد بخش جنوب شرق حوزه را در اطراف سوارآباد و همچنین بخشی از ارتفاعات غربی محل دفن زباله را تشکیل داده که بصورت توده ای می باشد.

۲-۵-۴ واحد پادگانه های آبرفتی قدیمی (QT1)

این واحد در مناطق کوهپایه ای و دشتی حوزه بر جای گذاشته شده و شامل مجموعه ای از مواد تخریبی می باشد که حاصل فرسایش واحدهای سنگی حوزه است. ذرات تشکیل دهنده آن عمدتاً در حد سیلت و رس بوده و قطعات قلوه سنگی و قطعه سنگی زاویه دار که عمدتاً از جنس اسلیت و دیوریت می باشند در داخل آن مشاهده می گردد. ذرات تشکیل دهنده آن فاقد جورشدگی و گردشگی هستند. میزان شیب توپوگرافی بسیار کم بوده و علاوه بر شیب عمومی دارای شیب جانبی نیز می باشد. از هر گونه پدیده سیمانی شدن و دیازنز اثری مشاهده نمی گردد. این واحد از نظر سنی مربوط به کواترنری است [میرزایی ۱۳۸۲].

۲-۵-۵ واحد پادگانه های آبرفتی جدید (Qt2):

این واحد جوانترین واحد زمین شناسی منطقه است و در برگیرنده مجموعه ای از رسوبات سست و منفصل از یکدیگر است که در اثر تخریب واحدهای سنگی قدیم و حمل و رسوب گذاری مجدد مواد تخریبی در مناطق کم شیب حوزه بر جای گذاشته شده است. اندازه ذرات تشکیل دهنده آن از حد رس تا قطعه سنگ متغیر است. میزان شیب توپوگرافی بسیار کم می باشد. به دلیل عدم وجود سیمان و عدم وقوع پدیده دیازنز احتمال جابجایی آن در طی سیلابها زیاد است. این واحد از نظر سنی متعلق به کواترنری می باشد و محل دفن زباله شهر اراک بر روی این واحد قرار دارد.

۲-۶ نفوذپذیری و خصوصیات هیدرودینامیکی واحدهای زمین شناسی حوزه:

سهولت عبور مایعات از داخل حفره های رسوبات یا سنگها را نفوذپذیری می نامند. مقدار نفوذپذیری به اندازه حفره ها و ویسکوزیته یا غلظت مایع بستگی دارد. فاکتورهایی از قبیل اندازه و شکل دانه جورشدگی و فابریک نیز در میزان نفوذپذیری موثرند. هر چقدر اندازه دانه ها کاهش یابد مقدار تخلخل زیاد ولی نفوذپذیری کم می شود. با افزایش اندازه دانه ها مقدار تخلخل مفید افزایش یافته و نفوذپذیری زیاد می گردد. زیرا در رسوبات دانه ریز مجاری متصل کننده حفره ها بسیار کوچک است و فشار موئینه زیاد در دیواره های این مجاری مانع عبور آب می گردد. از طرف دیگر هر قدر جورشدگی بهتر باشد تخلخل و نفوذپذیری افزایش خواهد یافت ضمن اینکه وجود ذرات زاویه دار در داخل رسوبات باعث افزایش میزان نفوذ می گردد.

عوامل دیگری از قبیل میزان شیب توپوگرافی - وضعیت پوشش گیاهی منطقه، نوع نزولات آسمانی و شدت بارش نیز در میزان نفوذ موثر می باشند.

در حوزه آبخیز مورد مطالعه، با توجه به نقش هر یک از عوامل مذکور می توان واحدهای زمین شناسی را از نظر نفوذپذیری به شرح ذیل تقسیم بندی نمود.

۲-۶-۱ واحد اسلیت و آهک کریستالین (Ksl):

واحد مذکور با توجه به شیب نسبتاً زیاد در اکثر نقاط، خصوصیات لیتولوژیکی که شامل وجود اسلیت در ترکیب شیمیایی آن است و نیز پرشدگی درز و شکاف توسط مواد تخریبی، با پوشش گیاهی ضعیف، دارای نفوذپذیری ضعیف می باشد و حجم زیادی از نزولات آسمانی در سطح آن جاری شده و کمتر فرصت نفوذ می یابند.

۲-۶-۲ واحد شیل آهکی (Ku):

واحد مذکور نیز در اکثر مناطق دارای شیب کم بوده و از پوشش گیاهی و خاکی متوسطی نیز برخوردار است. اما بازشدگی درزه ها و نیز وجود حفرات انحلالی ضعیف در آن باعث گردیده که دارای نفوذپذیری ضعیف باشد به این صورت که اگر نزولات جوی به صورت باران انجام پذیرد حجم محدودی از آن فرصت نفوذ پیدا می کند اما اگر نزولات آسمانی به صورت برف باشد به دلیل ذوب تدریجی میزان نفوذ افزایش یافته و در رده متوسط قرار می گیرد.

۲-۶-۳ واحدهای آبرفتی ($Qt1-Qt2$)

این واحدها از شیب کم توپوگرافی برخوردارند از سوی دیگر فاقد سیمان در بین ذرات تشکیل دهنده خود می باشند و پدیده دیائز را نیز تحمل نکرده اند. پوشش گیاهی نسبتاً مطلوب نیز مزید بر علت گردیده تا حجم زیادی از نزولات جوی در داخل این واحدها نفوذ نموده و سفره آب زیرزمینی حوزه را به وجود بیاورد.

بنابراین نتیجه می گیریم که عمده ترین پتانسیل آبی منطقه در داخل واحدهای آبرفتی دوران چهارم قرار دارد. به دلیل عدم وجود واحدهای تخییری در حوزه و نیز عدم وجود آلاینده های مصنوعی می توان گفت که آب زیرزمینی منطقه امان آباد از کیفیت مناسبی برخوردار است [میرزایی ۱۳۸۲].

۲-۷ ژئومورفولوژی

ژئومورفولوژی مطالعه ناهمواریهای سطح زمین و عوامل دست اندرکار در ایجاد آنها را به عهده دارد. واحدهای ژئومورفولوژی در حوزه مورد مطالعه شامل واحد کوهستان تپه و دشت می باشد تفکیک هر کدام از واحدهای مذکور با توجه به وضعیت توپوگرافی و شیب منطقه صورت پذیرفته است. شکل ۲-۴ واحدهای ژئومورفولوژی و تیپ اراضی حوضه مورد بررسی را نشان می دهد. هر یک از واحدهای مذکور به شرح ذیل توصیف می گردند.

۲-۷-۱ واحد کوهستان (کد ۱)

واحد کوهستان عمدتاً در جنوب حوزه محل دفن زباله اراک قرار دارد. این واحد در برگیرنده مناطق مرتفع و پرشیب حوزه است. و دارای یک تیپ دامنه نا منظم (I) می باشد. این تیپ دارای سه رخساره به شرح ذیل است.

۲-۷-۱-۱ رخساره نوع اول

این رخساره در جنوب شرق حوزه قرار دارد. از نظر لیتولوژیکی عمدتاً در برگیرنده واحد دیوریتی (d) و با اهمیت کمتر واحد آهک کریستالین کرتاسه (Kst) است. این رخساره در واحد دیوریتی (d) به صورت رخنمونهای سنگی لخت و فاقد پوشش دامنه ای تظاهر یافته است. در سایر مناطق میزان پوشش تخریبی استقرار یافته بر روی دامنه ها بسیار ناچیز می باشد. واریزه ها عمدتاً دانه درشت و زاویه دار بوده و هیچگونه اثری از تشکیل خاک مشاهده نمی گردد.

میزان شیب توپوگرافی بسیار زیاد بوده و عمدتاً حالت پرتگاهی مشاهده می گردد. سیستم آبراهه در این رخساره از نوع موازی با تراکم کم می باشد. اشکال فرسایش عمدتاً شامل فرسایش انحلالی در مناطق آهکی و فرسایش سطحی در مناطق دیگر است.

۲-۱-۷-۲ رخساره نوع دوم

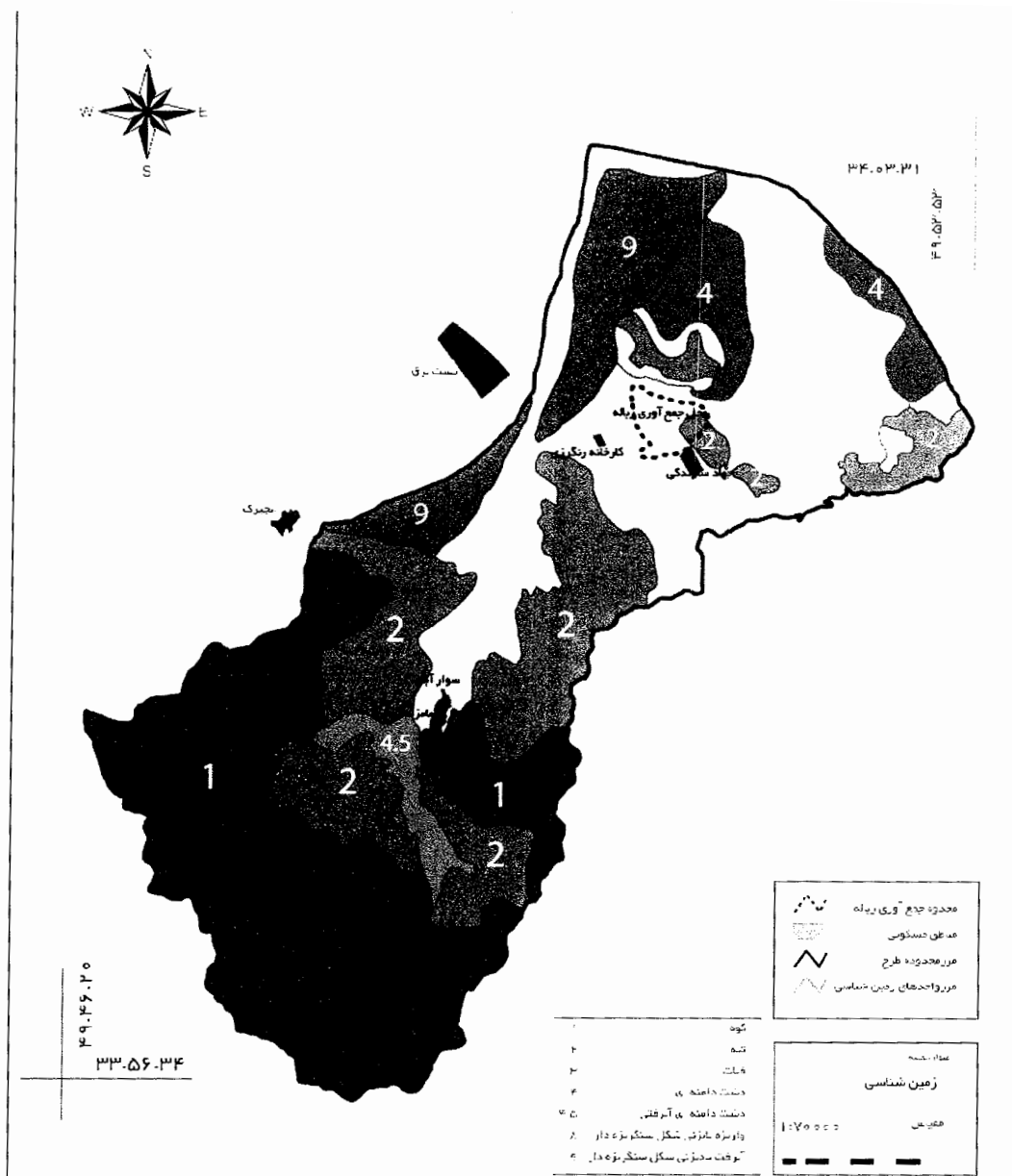
این رخساره در جنوب حوزه قابل رویت است. میزان پوشش تخریبی مستقر بر روی دامنه ها بین ۲۵-۵۰ درصد می باشد. سنگ شناسی این رخساره شامل واحد اسلیت (*Ksl*) است. میزان شیب توپوگرافی در این رخساره در مقایسه با رخساره نوع اول کمتر می باشد. واریزه های موجود بر روی دامنه ها عمدتاً دانه درشت و زاویه دار هستند. در برخی نقاط این رخساره اثراتی از تشکیل خاک مشاهده می گردد. اما فاقد تکامل و عمق کافی است. سیستم آبراهه از نوع دندریتیک با تراکم متوسط است. اشکال فرسایشی عمده شامل فرسایش سطحی است.

۳-۱-۷-۲ واحد تپه (کد ۲)

واحد تپه مهور گسترش محدودی در این حوزه دارد و شامل مناطق نیمه مرتفعی است که میزان شیب آن بین ۱۵-۳۰ درصد می باشد.

۴-۱-۷-۲ رخساره با پوشش تخریبی ۵۰-۷۵ درصد

این رخساره در مناطق متعددی از حوزه مشاهده می گردد. میزان پوشش تخریبی بر روی دامنه در کلاس ۵۰-۷۵ درصد قرار دارد از نظر سنگ شناسی شامل واحد اسلیت (*Ksl*) و شیل آهکی (*Ku*) است. میزان شیب توپوگرافی بین ۱۵-۳۰ درصد می باشد. واریزه ها عمدتاً دانه ریز بوده که در میان آنها قطعات سنگی زاویه دار نیز مشاهده می گردد. خاک نیمه عمیق در برخی نقاط این رخساره مشاهده می گردد. که هنوز تکامل کافی پیدا نکرده است. فرسایش های غالب از نوع فرسایش سطحی است. سیستم آبراهه ای از نوع دندریتیک با تراکم زیاد می باشد.



شکل ۲-۴: واحدهای ژئومورفولوژی (تیپ اراضی) حوزه محل جمع آوری زباله امروزی شهر اراک [امیرزایی، ۱۳۸۲]

۲-۷-۱-۵ واحد آبرفت کدهای (۳، ۴، ۹ و ۵/۴)

واحد آبرفت گسترش زیادی در سطح حوزه دارد. این واحد در برگیرنده مناطق نسبتاً مسطح و کم شیب حوزه است و در برگیرنده رسوبات سست دوران چهارم می باشد که اجزاء تشکیل دهنده آنها کاملاً منفصل از یکدیگر هستند. اندازه اجزاء تشکیل دهنده آن در حد سیلت و رس تا قطعه سنگ متغیر است و دارای چهار رخساره تراس آبرفتی مرتفع (کد ۳) و پادگانه های آبرفتی جدی (کد ۴، ۹ و ۵/۴)

می باشد. پادگانه های آبرفتی جوان بصورت واریزه در پای دامنه واحد ارتفاعات و نیز بصورت دشت دامنه ای در جنوب حوزه به چشم می خورند رخساره تراس آبرفتی مرتفع در مقایسه با رخساره آبرفتهای جدید دارای شیب توپوگرافی بیشتری بوده و علاوه بر آن دارای شیب جانبی نیز می باشد. عمق خاک در واحد آبرفت بسیار زیاد بوده و خاک کاملاً تکامل یافته است. سیستم آبراهه از نوع موازی با تراکم کم می باشد. لازم به توضیح است که محل دفن زباله های فعلی بر روی تیپ ۳ قرار دارد. اشکال فرسایشی متداول شامل فرسایش سطحی، شیاری خفیف و گاهی بسیار خفیف می باشد که دو نوع اخیر در جنوب حوزه مشاهده می گردند. (شکل ۲-۴)

۲-۸ زمین شناسی ساختمانی در محدوده دفن زباله

محدوده دفن زباله شهر اراک بصورت طاقدیس است که امتداد محور طاقدیس شمال غرب و جنوب شرق است. پلانژ جنوب شرق طاقدیس مورد نظر محل فعلی جمع آوری زباله را شامل می شود یال شمال شرقی طاقدیس را واحد اسلیت (*Ksl*) کرتاسه زیرین تشکیل داده که شیب لایه ها به سمت شمال شرق می باشد در داخل واحد مورد نظر توده آذرین درونی نفوذ نموده که دیوریتی و گرانودیوریتی است امتداد و شیب لایه ها بصورت *N285* با شیب *75NE* است.

یال جنوبی طاقدیس مورد نظر را که محوطه انبار جهادسازندگی را نیز شامل می شود عمدتاً متشکل از شیل آهکی کرتاسه فوقانی (*Ku*) است. در این یال اسلیت (*Ksl*) در اعماق قرار دارد و خیلی کم در سطح زمین رخنمون پیدا کرده است. لذا می توان گفت در یال شمالی طاقدیس به دلیل بالا آمدن توده نفوذی دیوریتی (*d*) واحد اسلیتی (*Ksl*) بالا آمده و در سطح زمین رخنمون پیدا کرده است. اما در یال جنوبی توده نفوذی مورد نظر در اعماق قرار دارد در یال جنوبی که به سمت سد امان آباد راه دارد گسلهای محلی سبب تغییر در شیب و امتداد طبقات شده اند. لایه های شیل آهکی (*Ku*) در یال جنوبی دارای امتداد *N277* و شیب *74SW* است.

بررسی های زمین شناسی به عمل آمده نشان داد که امتداد محور طاقدیس، امتداد گسلهای محلی شمال غرب و جنوب شرق و به سمت سد امان آباد هستند. اسلیتها همچنین دارای رخ اسلیتی می باشد اما به دلیل ریز بودن اجزاء تشکیل دهنده سنگها و خرد شدن سنگها مواد ریز دانه شکافها را پر کرده و نفوذپذیری آنها را کاهش داده اند. (شکل ۲-۳)

۹-۲ بررسی منابع آبی منطقه

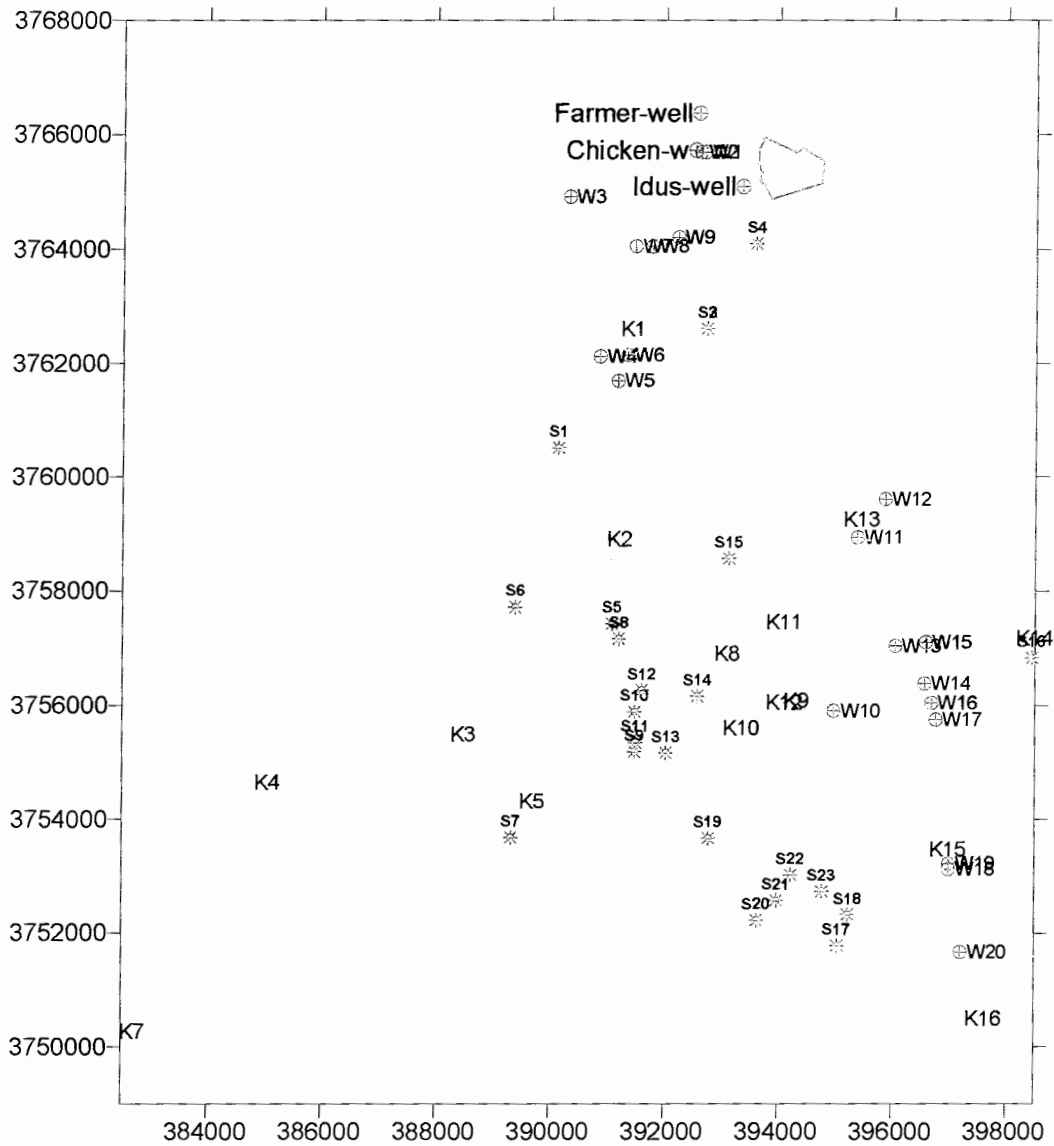
منابع تخلیه آبی حوزه سوار آباد که مشرف به محل دفن زباله می باشد را چاهها، قنوات و چشمه ها تشکیل می دهند (شکل ۲-۵). آنچه که از نظر منابع آبی مهم است وضعیت چاهها در نزدیکی محل دفن زباله می باشد. اطلاعات این چاهها در پیوست الف آمده است.

از نظر منابع آبی چاهها در دو منطقه از اطراف محل دفن زباله پراکنده اند. یکسری چاهها در محدوده دفن واقع شده که از آن جمله می توان به چاه رنگریزی، چاه کشاورزی و چاه مرغداری اشاره نمود. یکسری دیگر در خارج از محدوده دفن و در دشت امان آباد و به عبارتی زیر دست امان آباد و زیردست محل دفن زباله واقع شده که از آن جمله می توان به چاههای شرب اراک اشاره نمود.

بررسی عمق چاهها و سطح آب در چاههای منطقه نشان داد که به سمت سوارآباد و یا حوزه بالا دست محل دفن زباله عمق چاهها کم شده و به عبارتی سنگ کف بالاست [میرزایی ۱۳۸۲]. لذا در این نواحی آبرفتها از ضخامت کمی برخوردار هستند. اما چاهها در نزدیکی محل دفن و چاهها در دشت امان آباد از عمق بالایی (حتی بیش از ۱۰۰ متر) برخوردار می باشند. به عبارتی می توان گفت ضخامت آبرفت در این مناطق زیاد است. لذا بر اساس مطالعات هیدرولوژی انجام گرفته بخش اعظم رواناب های سطحی محاسبه شده به خارج از محدوده دفن زباله و یا به سمت دشت امان آباد هدایت می شوند.

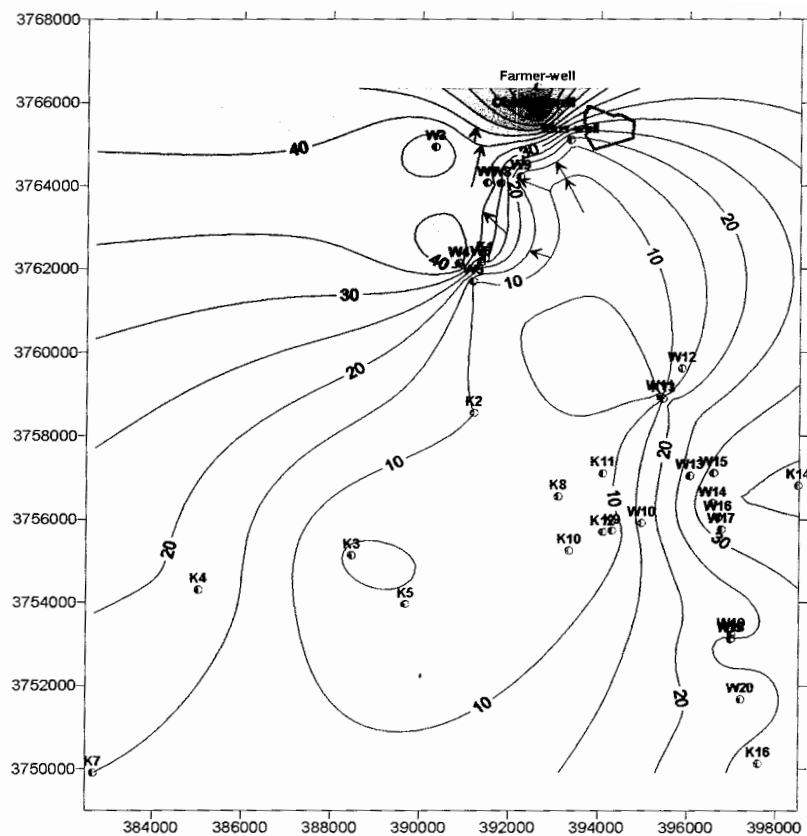
از طرفی بدلیل شیب بالای آبراهه اصلی سوارآباد تا پایین دست محل دفن زباله بدیهی است توقف رواناب حوزه سوارآباد در محل دفن زباله بسیار کم و زمان برای نفوذ کم می باشد لذا سیلابها راه خود را به خروجی دفن زباله پیدا نموده و زمان تماس آنها با محل جمع آوری زباله کم است.

بررسی نقشه ایزوپیز منابع آبی منطقه (شکل ۲-۶) خصوصاً چاهها نشان می دهد که جریان آب زیرزمینی که از سمت حوزه سوارآباد به محل دفن زباله می رسند، به سمت ایستگاه برق انجیرک است. به عبارتی می توان گفت با توجه به اینکه جهت حرکت روانابها و مسیر رودخانه سوارآباد از محل دفن زباله و به سمت انبار جهاد و آنگاه از پایین دست دفن زباله عبور می کند اما با توجه به نقشه ایزوپیز، جریان آب زیرزمینی برعکس رواناب سطحی به سمت پست برق انجیرک می باشد. لذا آب زیرزمینی در تماس با محل دفن زباله نمی باشد. بررسی صحرایی نشان داد که دلیل برگشت آب زیرزمینی بخاطر بالا بودن سنگ کف اسلیت آهکی در محل جمع آوری زباله است [میرزایی، ۱۳۸۲].



شکل ۲-۵: موقعیت چاهها (W)، قنوات (K) و چشمه ها (S) در منطقه سوار آباد

علاوه بر این، برای مدلسازی حرکت آلودگی، نیاز به اطلاعات چاه های آب و کشاورزی مربوط به منطقه امان آباد بود، تا بتوان با استفاده از این اطلاعات سطح آب زیر زمینی در منطقه را به دست آورد تا اطلاعات لازم برای مدلسازی آلودگی را تکمیل نمود. اطلاعات مربوط به این چاهها در پیوست الف آمده است.



شکل ۲-۶: نقشه ایزوپیز بررسی خطوط جریان آب با استفاده از اطلاعات چاهها و قنوت در محدوده دفن زباله شهر اراک [میرزایی ۱۳۸۲]

۲-۱۰ بارندگی

جهت بررسی میزان بارندگی سالیانه در سطح محدوده مورد بررسی از آمار ۱۵ ایستگاه سینوپتیک، تبخیرسنجی (کلیماتولوژی) و باران سنجی واقع در داخل و اطراف محدوده استفاده شده است. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص شد ایستگاه سینوپتیک اراک به دلیل طول دوره آماری بیشتر و دقت و تداومی که در قرائت آمار آن وجود دارد از آمار بسیار خوب و مطمئنی برخوردار است. لذا این ایستگاه به عنوان ایستگاه مبنا برای اندازه گیری پارامترهای جوی انتخاب شده است. برای بررسی پدیده بارندگی، دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۴۹ لغایت ۱۳۸۱-۱۳۸۰ به عنوان دوره ای ۳۰ ساله انتخاب شده است. در پیوست الف مشخصات ایستگاهها و متوسط بارندگی آنها آمده است. با توجه به آمار موجود متوسط بارندگی سالیانه در منطقه 330 mm می باشد. جدول ۲-۱ آمار مربوط به متوسط بارندگی برای یک دوره

سی ساله را نشان می دهد.

جدول ۱-۲: متوسط بارندگی سی ساله در ایستگاههای موجود [میرزایی ۱۳۸۲]

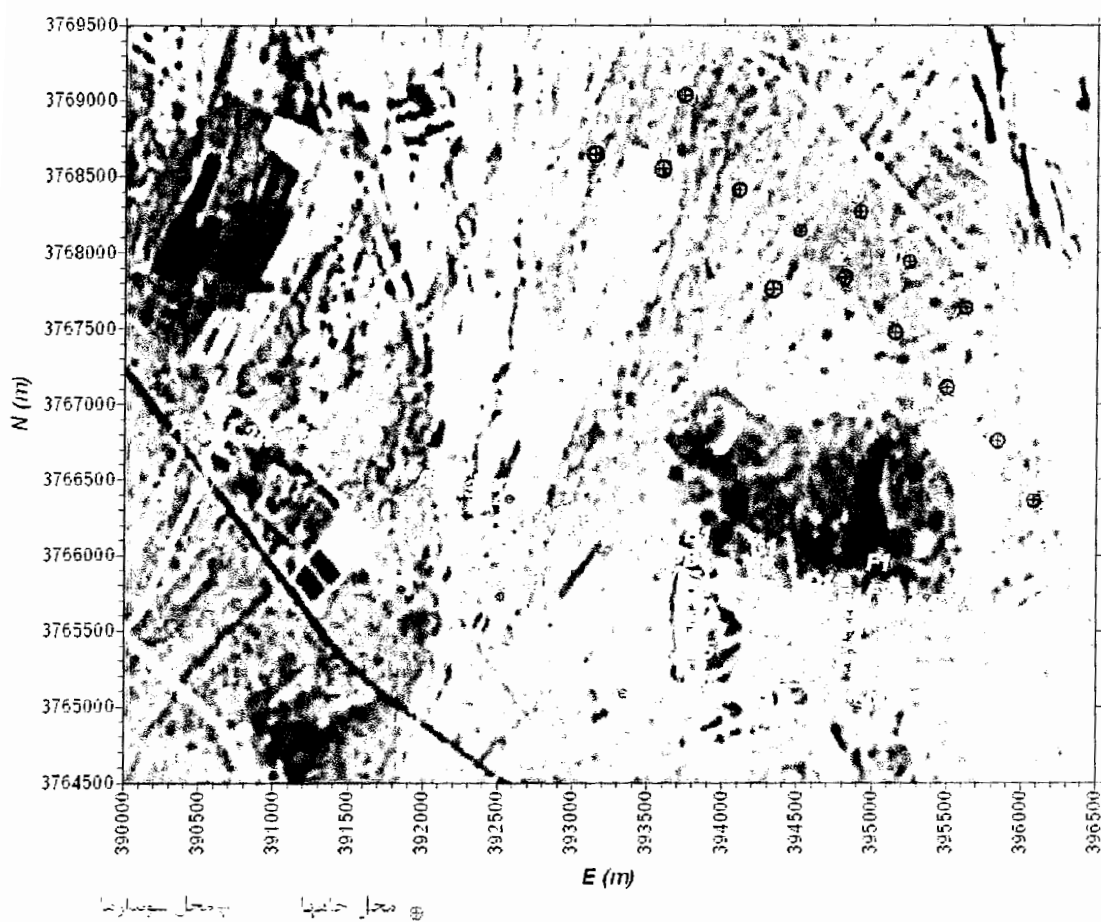
ردیف	نام ایستگاه	تعداد سال آماری موجود	متوسط بارندگی ۳۲ ساله (mm)	ارتفاع از سطح دریا (m)
۱	سینوپتیک اراک	۳۰	۳۲۹/۴	۱۷۰۸
۲	امور آب اراک	۱۴	۳۴۲/۲	۱۷۸۰
۳	شمس آباد	۳۰	۳۶۰/۹	۲۱۹۰
۴	موچان	۱۶	۴۰۷/۱	۲۱۰۰
۵	مالک آباد	۱۶	۲۳۹/۵	۱۶۷۰
۶	مشک آباد	۱۴	۲۳۲/۲	۱۶۹۸
۷	گوار	۳۰	۳۲۱/۸	۱۹۷۰
۸	داوود آباد	۳۰	۲۱۰/۴	۱۶۶۰
۹	دودهک	۳۰	۱۷۷/۴	۱۴۵۰
۱۰	محلات	۱۶	۲۵۵/۹	۱۷۳۵
۱۱	آشتیان	۳۰	۲۴۹/۹	۲۰۸۰
۱۲	راهجرد	۱۶	۲۱۴/۵	۱۷۰۰
۱۳	نانگرد	۱۶	۲۰۶/۹	۱۷۲۰
۱۴	عمارت	۲۵	۴۱۳/۴	۲۱۰۰
۱۵	ساروق	۳۰	۲۴۵/۰	۱۸۰۰

فصل سوم

ارائه و تفسیر داده های ژئوفیزیکی

۱-۳ ارائه داده ها

در منطقه مورد نظر تعداد ۵۰ سونداژ مقاومت ویژه با آرایه شلومبرژه بر روی یک سری پروفیل های موازی توسط گروهی به سرپرستی دکتر میرزایی در سال ۸۰ و ۸۱ صورت گرفته است [میرزایی ۱۳۸۲]. محل سونداژها بر روی نقشه ماهواره ای منطقه در شکل ۱-۳ آمده است.



شکل ۱-۳: تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه و محل سونداژهای برداشت شده

در شکل ۲-۲ و شکل ۳-۲ نماهایی از منطقه دفن زباله آمده است.



شکل ۲-۳: نمایی از منطقه دفن زباله



شکل ۳-۳: نمایی از غرب منطقه دفن زباله ها

مختصات جغرافیایی و ارتفاع محل هر سونداژ که با استفاده از *GPS* دستی برداشت شده است، در پیوست الف آمده است.

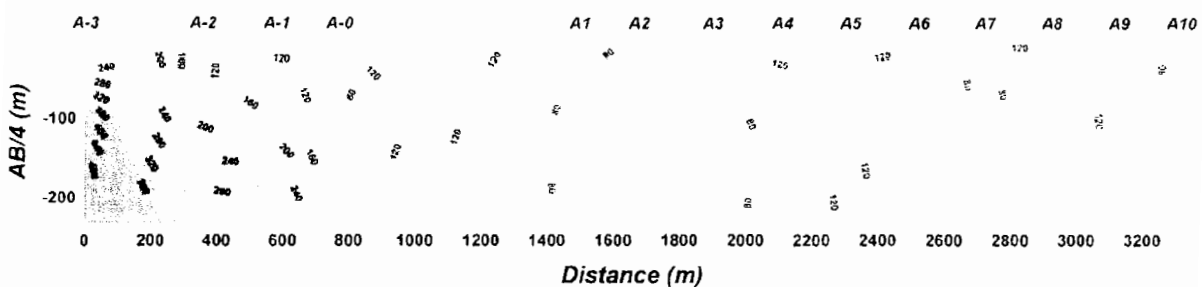
پروفیل *A* برای شناسایی رسوبات منطقه طراحی شده است، تا عمق و نوع رسوبات در منطقه مشخص شود. پروفیل‌های *A, B, C, D, E, F* جهت مطالعات لندفیل در یک شبکه تقریباً مستطیلی به طول ۱۲۰۰ متر و عرض ۱۰۰۰ متر در محل دفن زباله ها طراحی شده اند. همچنین پروفیل *G* جهت کنترل گسترش آلودگی در نظر گرفته شده است، که آیا آلودگی در این سمت غرب محل دفن زباله ها گسترش داشته یا خیر؟

۲-۳ تفسیر کیفی داده های مقاومت ویژه

در ابتدا قبل از پردازش و تفسیر داده های مقاومت ویژه روند کلی داده ها در هر پروفیل به طور کیفی مورد ارزیابی می گیرد. برای این کار اطلاعات مقاومت ویژه ظاهری مربوط به هر یک از پروفیلها جداگانه توسط نرم افزار *Excel* بر حسب نصف فاصله الکترودهای جریان رسم شده اند. همچنین با استفاده از نرم افزار *Surfer* نیز شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری ترسیم گردیده اند.

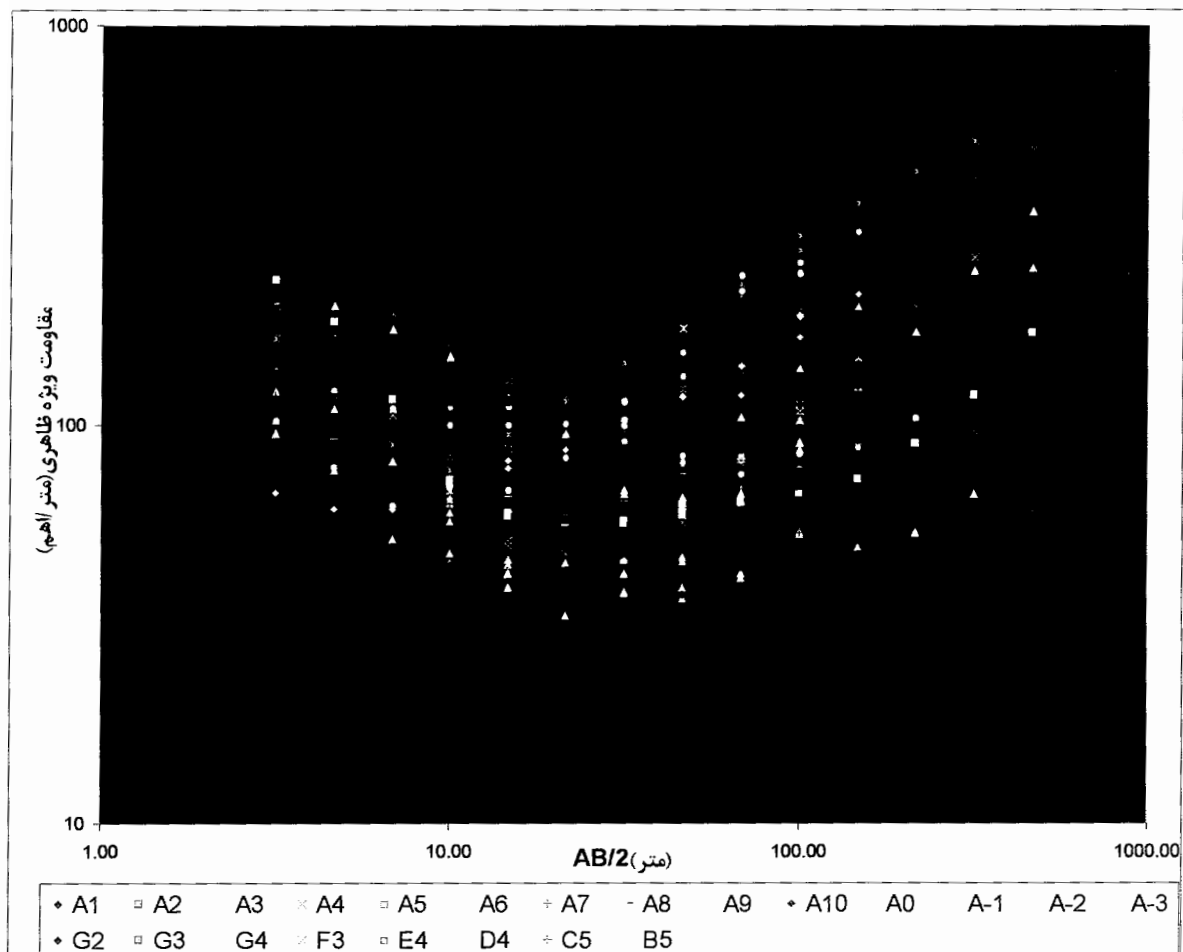
۱-۲-۳ پروفیل *A*

بر اساس اطلاعات حاصل از برداشتهای صحرائی در راستای پروفیل *A* شبه مقطع مقاومت الکتریکی ظاهری پروفیل *A* به دست آمده است. هم چنانکه در شکل ۱-۳ دیده می شود راستای این پروفیل تقریباً شمال غربی - جنوب شرقی می باشد. با توجه به شکل ۳-۴ و شکل ۳-۵ مقاومت ویژه ظاهری از سونداژ *A-3* تا *A-0* از مقادیر مقاومتی بالا به سمت مقادیر پایین کاهش یافته است که نشان می دهد که سنگ کف به سمت غرب از عمق بیشتری برخوردار است.



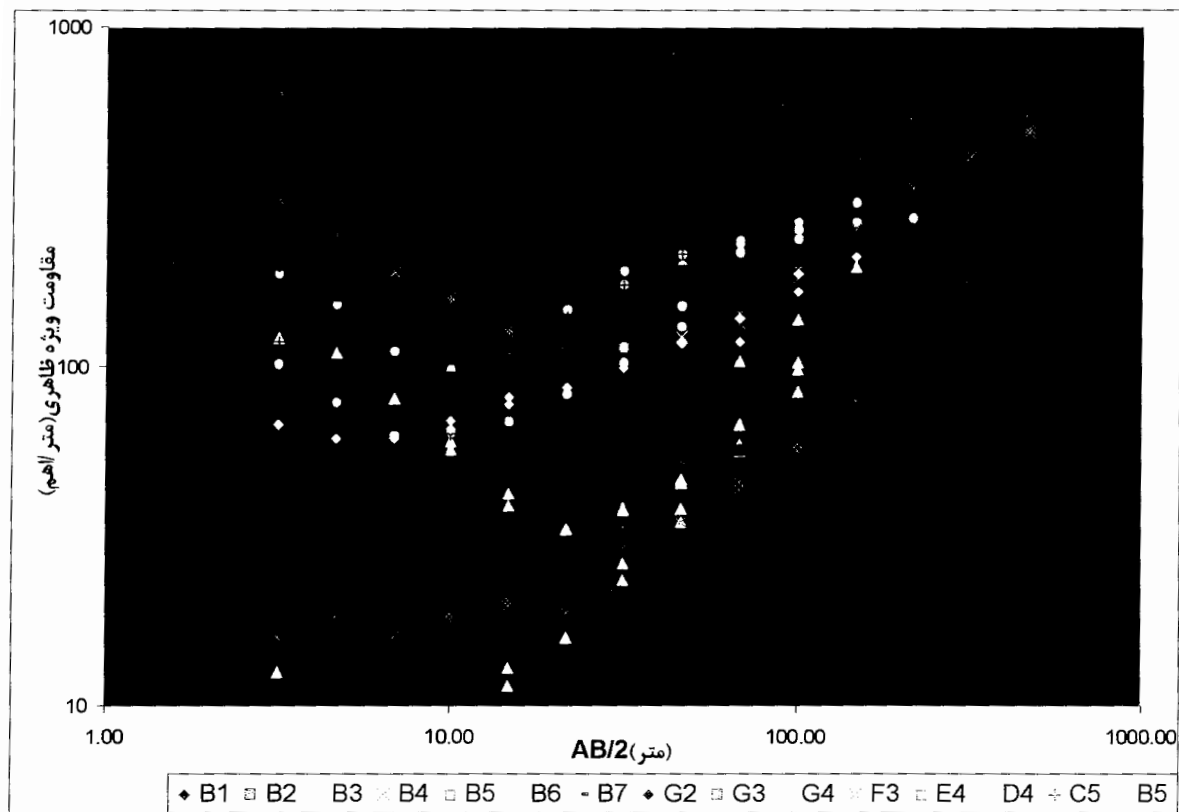
شکل ۳-۴ شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل *A*

از موقعیت سونداژ A-0 به سمت جنوب شرقی یعنی سونداژ A10 اگرچه ناحیه های کوچکی با مقاومت ویژه ظاهری بالاتر بصورت عدسی هایی روی می شوند ولی روند کلی، کاهش مقدار مقاومت های ویژه ظاهری از مرکز به سمت سونداژ A10 می باشد. ولی آن چه که مسلم است اختلاف قسمت شرقی با غربی در این می باشد که مقدارمقاومت های ویژه ظاهری در قسمت شرقی بطورکلی کمتر از قسمت غربی است که می تواند ناشی از تاثیر تفاوت نوع سنگ کف درنا حیه شرقی نسبت به ناحیه غربی باشد.



شکل ۳-۵: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان AB/2 در پروفیل A

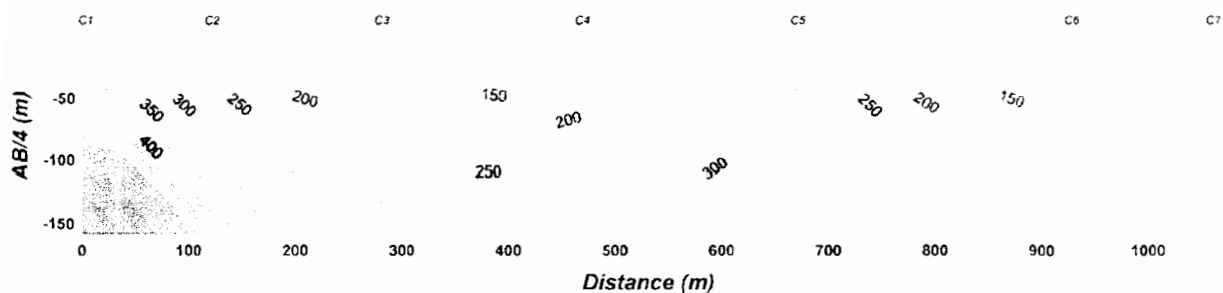
همچنین با توجه به شکل ۳-۵ ظاهرا سونداژ A-3 از یک روند ۲ لایه، سونداژهای A-1، A-2، A-0 از یک روند ۳ لایه و بقیه از روند ۴ لایه تبعیت می کنند.



شکل ۳-۷: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروده های جریان $AB/2$ در پروفیل B

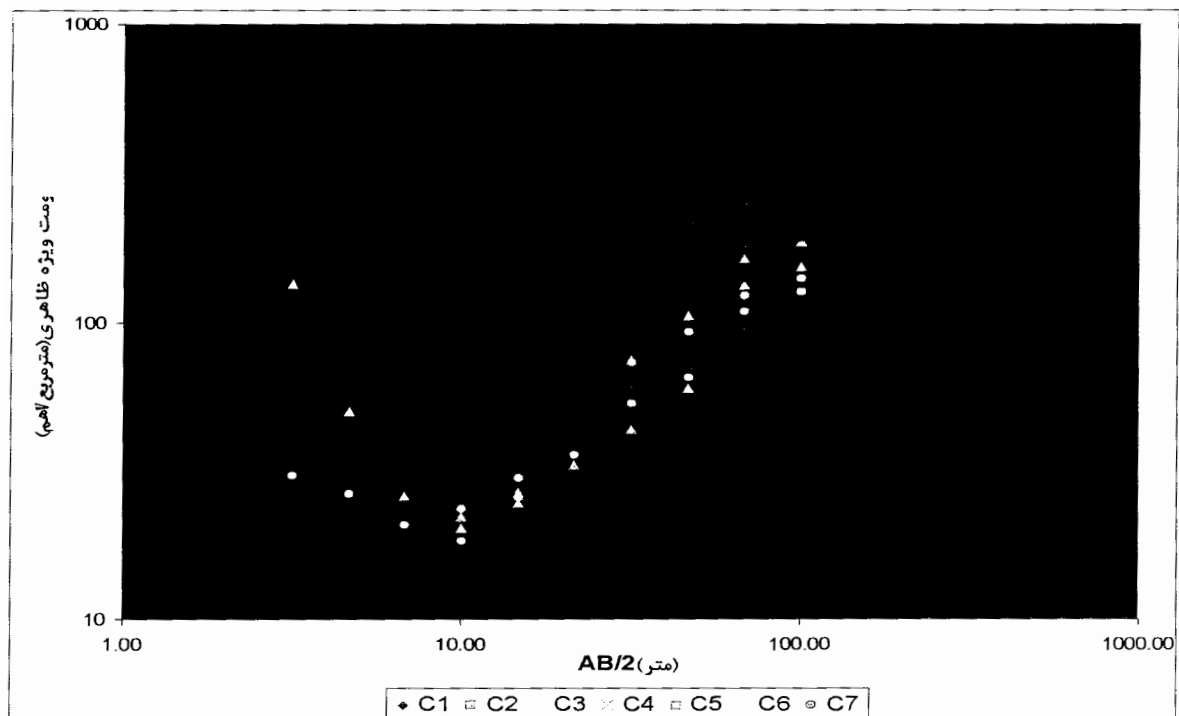
۳-۲-۳ پروفیل C

هم چنانکه از شکل ۳-۱ ملاحظه می گردد راستای این پروفیل شمالی- جنوبی بوده و در محدوده محل دفن زباله ها برداشت گردیده است. همانگونه که شکل ۳-۸ نشان می دهد مقاومت های ویژه بالا در محل سونداژ CI ناشی از تاثیر اثر سنگ کف می باشد زیرا محل برداشت این سونداژ نزدیک تشکیلات آهکی بوده است.



شکل ۳-۸: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل C

در سطح از سونداژ C1 بطرف سونداژ C5 کاهش مقاومت مشاهده می گردد که ناشی از تاثیر اثر زباله در این ناحیه از پروفیل می باشد. در محدوده سونداژ C5 بالا آمدگی ناگهانی خطوط با مقاومت ویژه بالا می تواند ناشی از بالا آمدگی سنگ کف یا اثرگسل باشد. از محل این سونداژ بطرف جنوب در سطح دوباره مقاومت ویژه کاهش یافته و ضخامت لایه آبرفتی که با زباله ها جانشین گردیده تا حدی افزایش می یابد. در شکل ۳-۹ سونداژ C7 نیز روند مقاومت ویژه افزایش دارد، اما افزایش آن به اندازه سونداژ C1 نمی باشد، که احتمالاً نوع جنس لایه ها متفاوت می باشد.



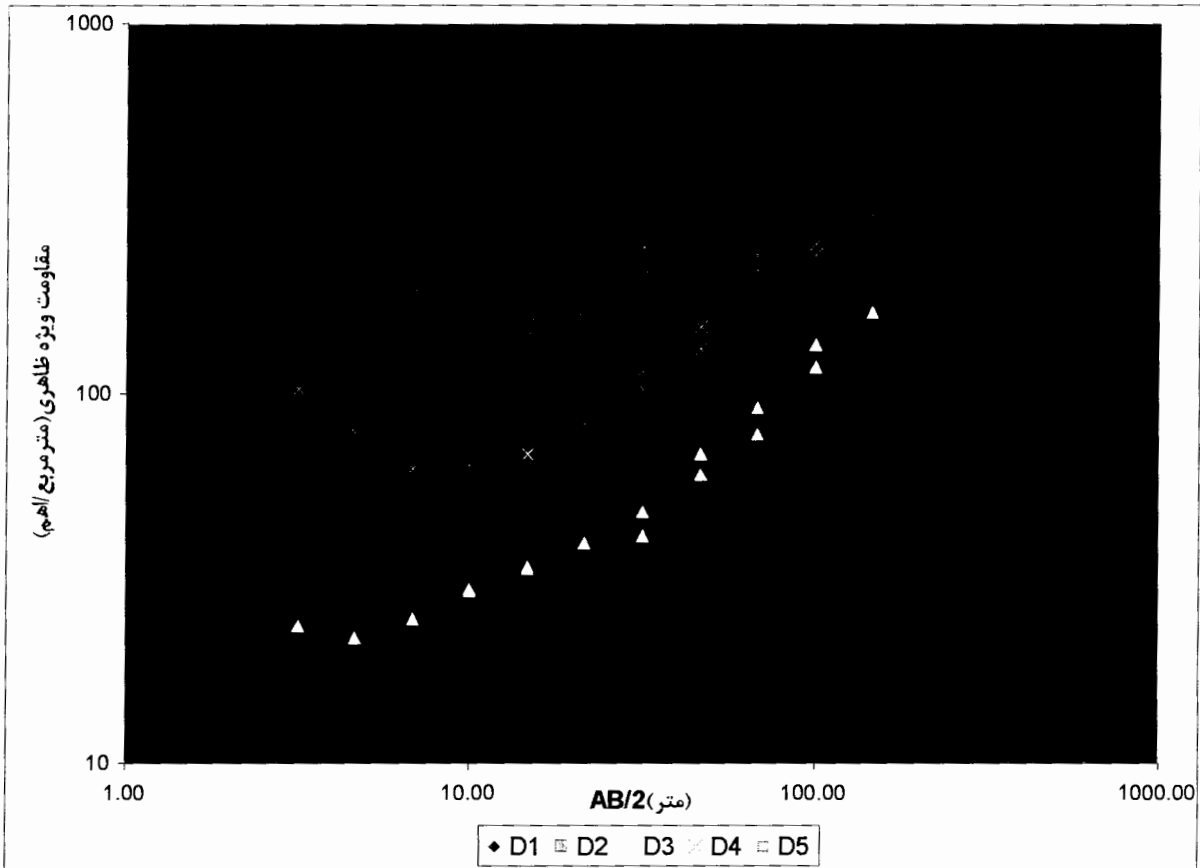
شکل ۳-۹: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان AB/2 در پروفیل C

۳-۲-۴ پروفیل D

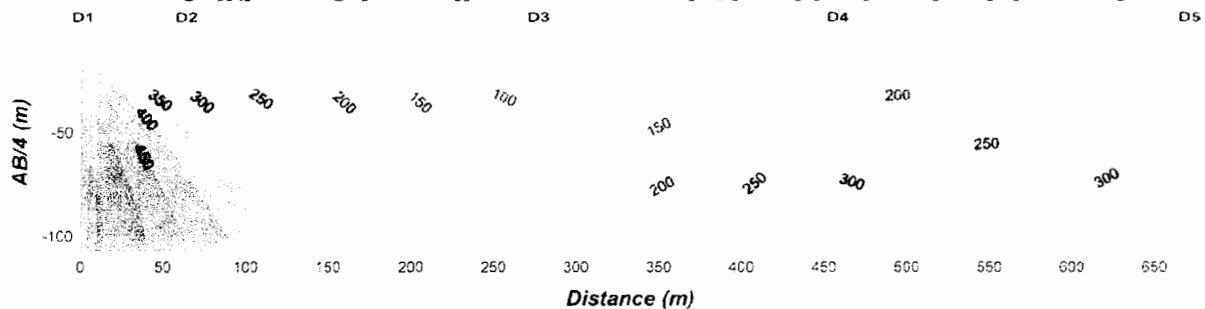
راستای این پروفیل نیز شمالی جنوبی می باشد. قسمتی از این پروفیل از محل دفن زباله عبور نموده است. با مشاهده نقشه خطوط هم مقاومت ویژه ظاهری (شکل ۳-۱۱) ملاحظه می شود که سنگ کف نزدیک سطح زمین می باشد و مقاومت آن در ناحیه شمالی بالاتر از ناحیه جنوبی می باشد. کمترین مقاومت ویژه در ناحیه سونداژ D3 بوده که ناشی از تاثیر زباله های دفن شده در این

قسمت می باشد و هم چنین شکل خطوط تراز مقاومت ویژه در این قسمت بیانگر عمیق تر بودن رسوبات در این قسمت نسبت به سایر قسمت‌های این پروفیل می باشد که البته خاکبرداری شده و با زباله ها جانشین گردیده است.

همچنین با توجه به شکل ۰ در تمام سونداژها به جز $D1$ و $D5$ از یک روند سه لایه تبعیت می کنند و سونداژهای $D1$ و $D5$ از یک روند ۴ لایه تبعیت می کنند. (شکل ۱۱-۳ شکل ۱۰-۳)



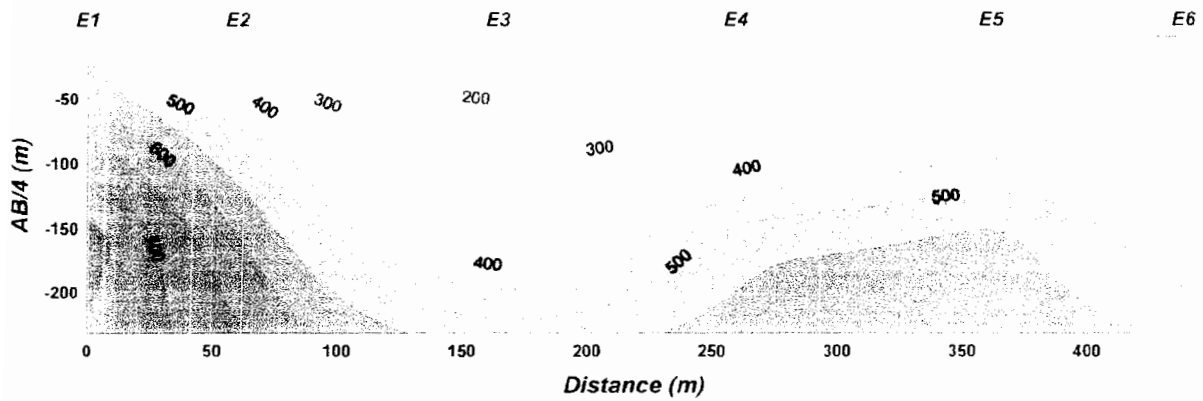
شکل ۱۰-۳: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل D



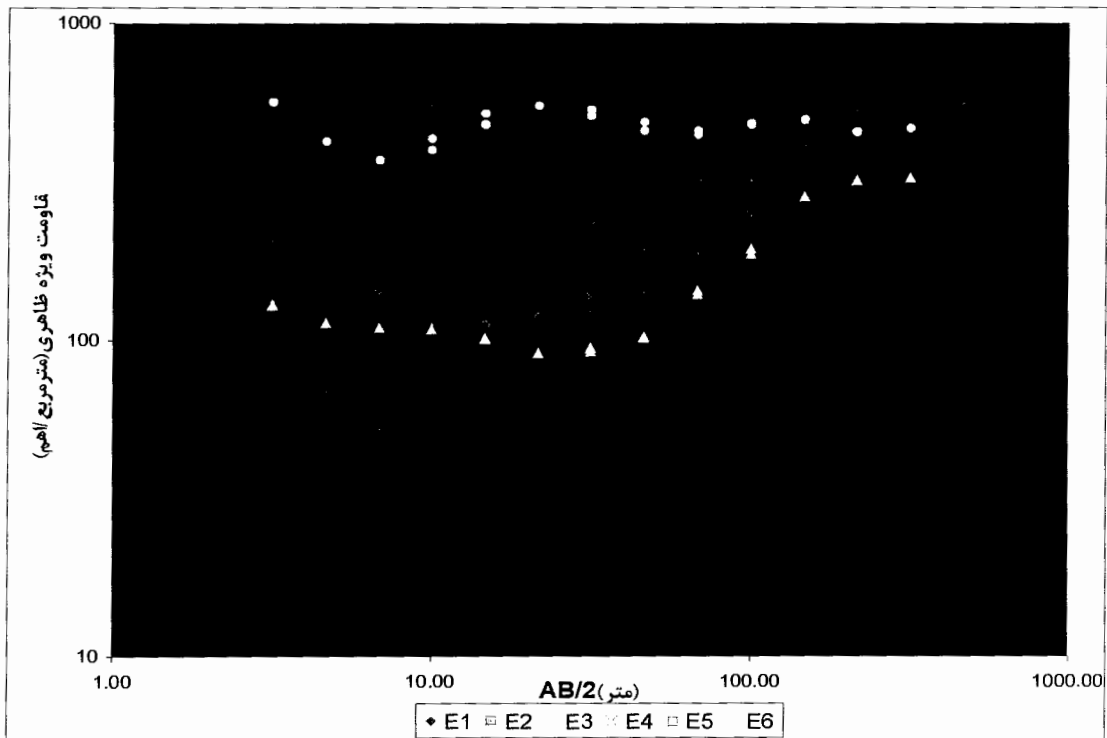
شکل ۱۱-۳: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل D

۵-۲-۳ پروفیل E

این پروفیل که شامل ۶ سونداژ می باشد در راستای شمالی- جنوبی برداشت گردیده است. این پروفیل تقریباً بر روی تشکیلات سنگ بستر قرار دارد که مقاومت های ویژه مربوط به بخش شمالی بالاتر از بخش جنوبی می باشد. در کدام نقشه مشاهده می گردد که در محل سونداژهای E2، E3 و E4 اندکی مقاومت ویژه کاهش می یابد که ناشی از تاثیر لایه کم ضخامت آبرفتی در این قسمت می باشد که هم اکنون ممکن است با زباله ها جاگزین گردیده شده باشد (شکل ۱۳-۳ و شکل ۱۲-۳).



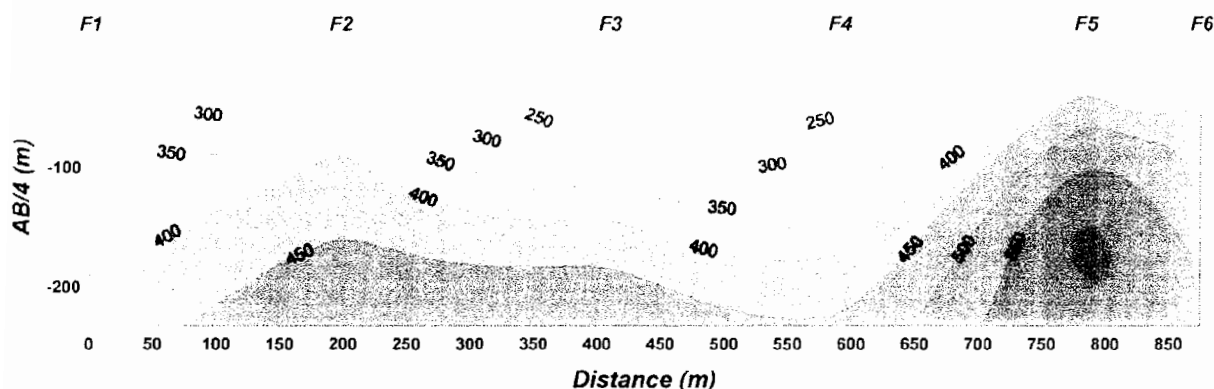
شکل ۱۲-۳: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل E



شکل ۱۳-۳: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان AB/2 در پروفیل E

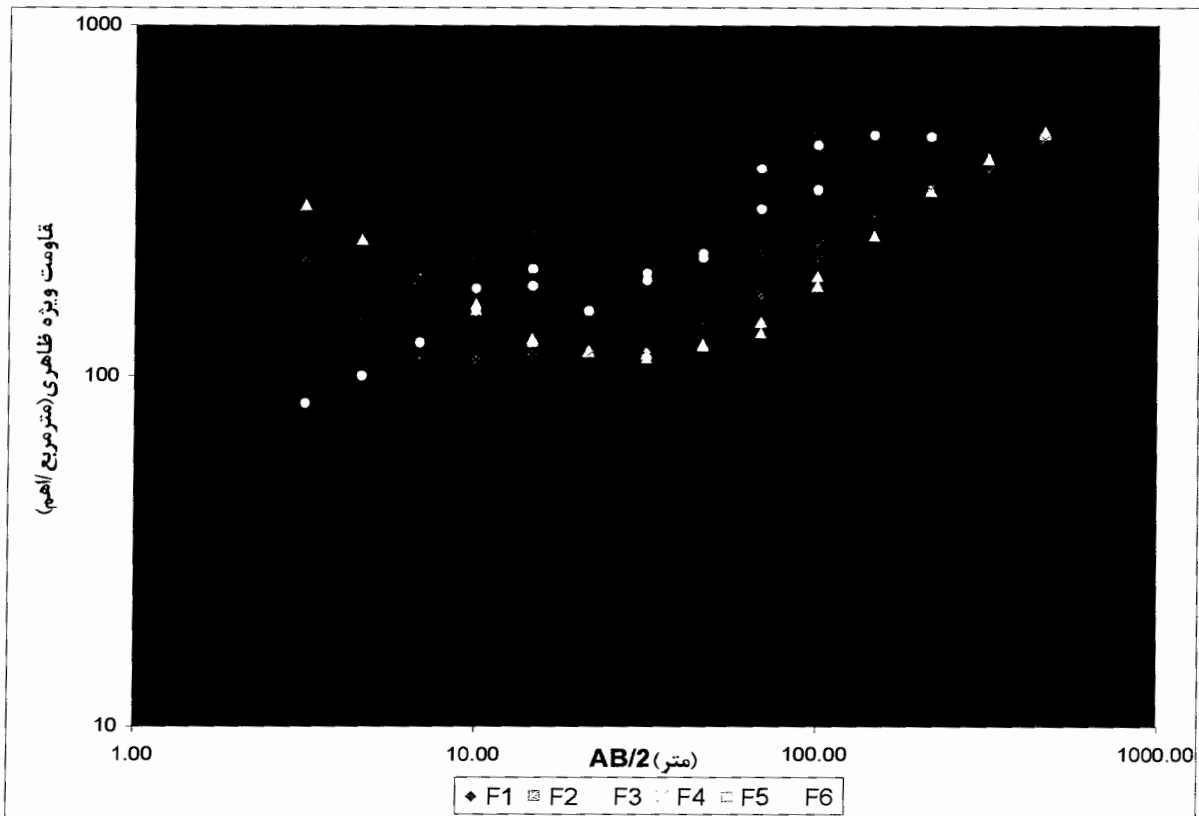
۳-۲-۶ پروفیل F

این پروفیل نیز شامل ۶ سونداژ در راستای شمالی-جنوبی بوده تقریباً روی تشکیلات برداشت گردیده است. نقشه خطوط مقاومت ویژه از محدوده سونداژ $F1$ تا $F4$ تقریباً روند افزایش مقاومت از سطح به عمق را نشان می دهد. البته در نزدیک سطح محدوده های عدسی گونه ای با مقاومت های پایین تر مشاهده می گردد که ناشی از زون های آبرفتی کم عمق با ضخامت کم در این قسمت ها می باشد.



شکل ۳-۱۴: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل F

شکل منحنی های مقاومت ویژه در محدوده سونداژهای $F5$ و $F6$ حکایت از بالا آمدگی یک توده سنگ بستر با مقاومت بالاتر می باشد که می توان این محل را به یک زون شکسته نیز نسبت داد. با توجه به شکل ۳-۱۵ تمام سونداژها در ابتدا یک روند رو به کاهش را دارند، در حالیکه در سونداژ $F6$ از ابتدا یک روند رو به افزایش دارد، که می تواند به دلیل بالا آمدن سنگ کف و کاهش ضخامت لایه آبرفتی باشد.

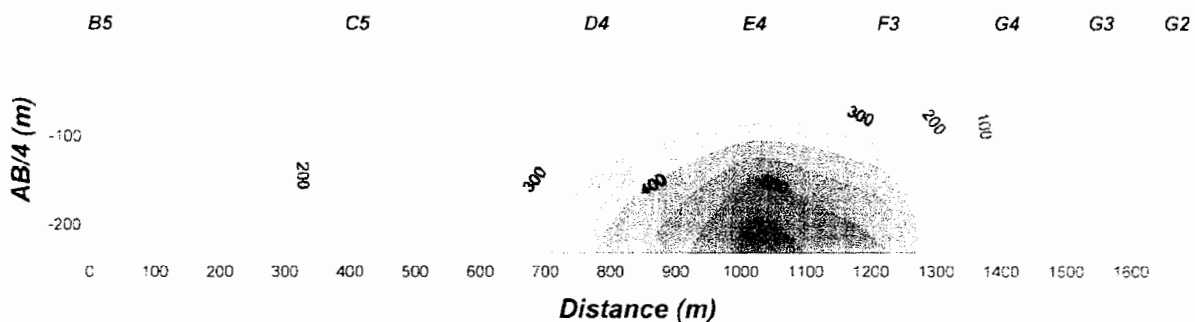


شکل ۳-۱۵: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان $AB/2$ در پروفیل F

۳-۲-۷ پروفیل GFEDCB

با استفاده از سونداژ های $G2, G3, G4, F3, E4, D4, C5$ و $B5$ پروفیلی تقریباً عمود بر

پروفیل‌های قبلی رسم شده است که جهت آن شرقی، غربی می باشد.

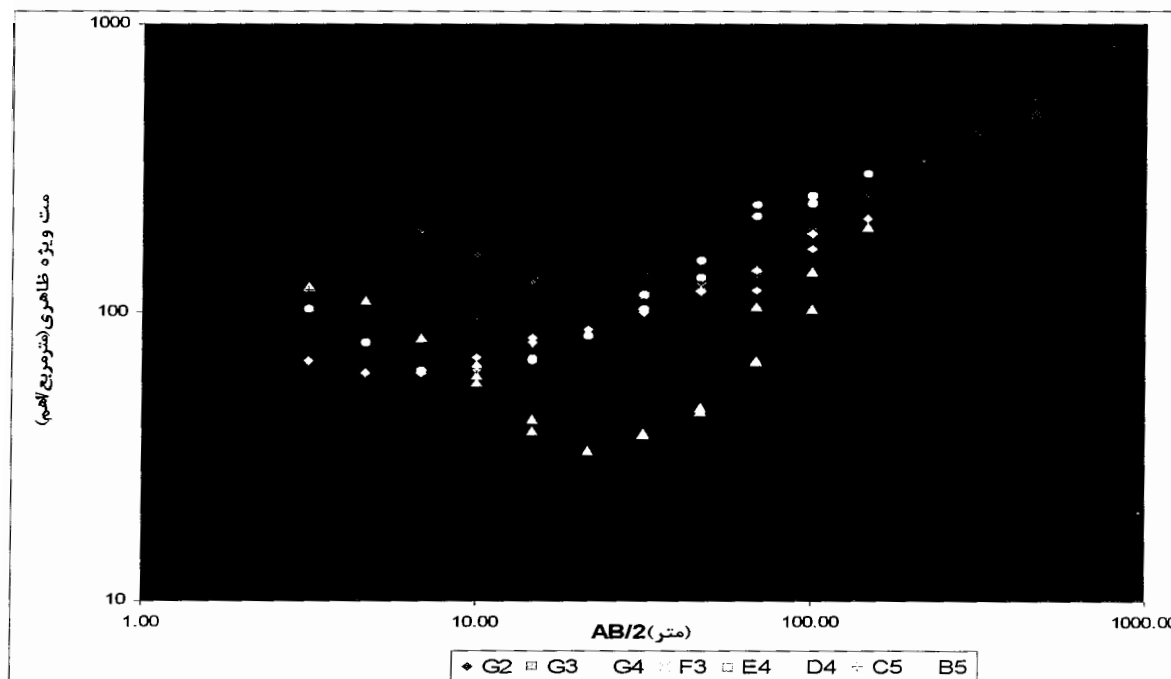


شکل ۳-۱۶: شبه مقطع مقاومت ویژه پروفیل GFEDCB

همانطور که در شکل ۳-۱۶ دیده می شود، سنگ کف در وسط پروفیل بالا آمده و ضخامت لایه

آبرفتی کاهش نشان می دهد. کاهش مقاومت در سونداژهای $G2, G3$ و $G4$ ناشی از زونهای آبرفتی در

منطقه بوده نه تاثیر آلاینده ها، در حالیکه کاهش مقاومت در سونداژهای B5 و C5 ناشی از تاثیر محل دفن زباله بوده است، همچنین در این قسمت عمق سنگ کف افزایش داشته است (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷: نمودار تغییرات مقاومت ویژه ظاهری بر حسب نصف فاصله الکتروود های جریان AB/2 در پروفیل GFEDCB

۳-۳ تفسیر دستی داده ها

داده های ژئوفیزیکی منطقه مورد بررسی قبلاً مورد تفسیر دستی قرار گرفته اند [میرزایی ۱۳۸۲] که از این تفاسیر به عنوان مدل اولیه برای مدل سازی یک بعدی و دوبعدی استفاده شده است.

۴-۳ مدلسازی و تفسیر با نرم افزار IXID

نرم افزارهای مدلسازی یک بعدی مقاومت ویژه بسیارند که می توان به *VES*, *Resix*, *ResID* و *IXID* اشاره کرد. که در بین این نرم افزارها *IXID* [اینترپکس^{۳۵} ۲۰۰۵] به علت کارایی و دقت بالاتر جهت مدلسازیهای یک بعدی انتخاب شده است.

نرم افزار *IXID* نسخه جدید از سری محصولات شرکت *Interpex* می باشد، که تحت سیستم عامل

³⁵ Interpex

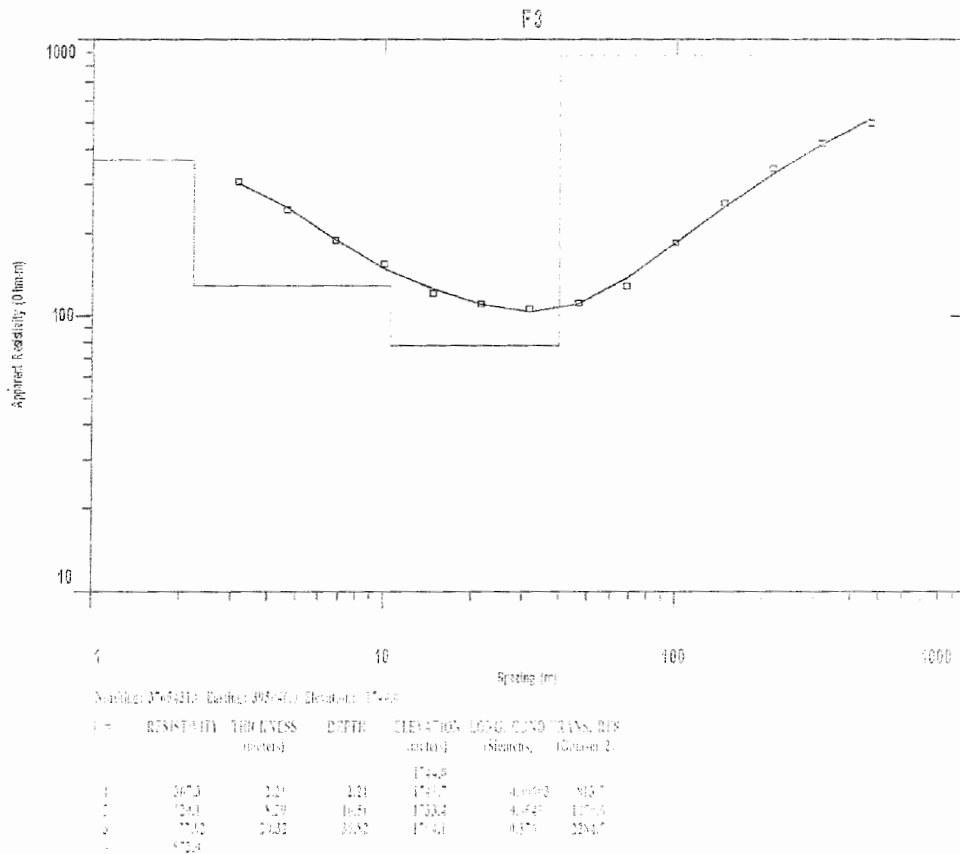
ویندوز کار می کند. این نرم افزار، نسخه تکمیلی نرم افزار *ResixIp* است که امکانات بیشتری در آن لحاظ شده است.

در این نرم افزار می توان به راحتی داده ها را وارد کرد. علاوه بر داده های مقاومت ویژه می توان داده های مربوط به برداشتهای الکترومغناطیس (*MT, TEMT, EM conductivity sounding*) را به نرم افزار داد و مدل سازی نمود.

در قسمت مقاومت ویژه می توان نوع سونداژ زنی را نیز مشخص نمود. پس از ورود اطلاعات می توان مدل اولیه شامل مقاومت ویژه و ضخامت هر لایه را وارد کرد، پس از مدلسازی نیز می توان با تغییر اندازه مقاومت ویژه و ضخامت لایه ها بطور همزمان بر روی مدل به بهترین جواب ممکن با توجه به اطلاعات زمین شناسی دست یافت. همچنین در این نرم افزار می توان تمام مدلهای مشابه به مدل نمایش داده شده را مشاهده کرد و بازه تغییرات لایه ها و مقاومت ویژه را مشاهده کرد.

یکی دیگر از قابلیتهای این نرم افزار مدلسازی هموار است که به طور خودکار بر اساس داده های ورودی مدلسازی می کند که شاید چندان به مدل زمین شناسی منطقه تطابق نداشته باشد، اما خطای مدلسازی آن از مدلسازی پارامتری کمتر است. همچنین می توان در این نرم افزار مختصات سونداژها و آزیموت آنها را وارد کرد تا نرم افزار موقعیت سونداژها را نسبت به هم نمایش دهد، و یک شبه مقطع دو بعدی از داده های یک بعدی نیز به دست آورد. از طرفی این نرم افزار تمام داده های مربوط به سونداژهای مختلف را به طور خودکار در خود با نام سونداژ مربوطه ذخیره سازی می کند.

در مدلسازی های انجام شده معمولاً لایه اول از مقاومت بالایی برخوردار است که در بعضی مکانها ناشی از لایه هوا زده سطحی و در بعضی دیگر در اثر بالا آمدن سنگ کف می باشد. به عنوان مثال در نزدیکی سونداژ *B1* بیرون زدگی سنگ کف سبب شده تا لایه اول از مقاومت بالایی برخوردار باشد. و در سونداژ *B6* در اثر هوازدگی قسمت بالایی لایه، مقاومت بالایی دارد و با افزایش فواصل سونداژ مقاومت ویژه کاهش یافته است. در شکل ۳-۱۸ نمونه ای از مدلسازیها آمده است و بقیه مدلسازیها را می توانید در پیوست ب ملاحظه کنید.



شکل ۳-۱۸: سونداژ F3 که لایه اول به علت هوازدگی قسمت سطحی به صورت دو لایه در نظر گرفته شده است، ضخامت لایه هوازده در حدود یک متر است.

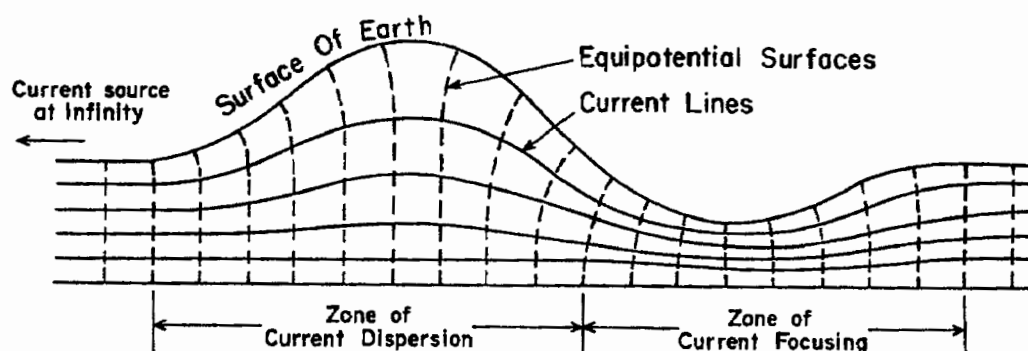
۳-۵ مدل سازی و تفسیر با نرم افزار *RES2DINV*

با توجه به وجود ۱۰ پروفیل در راستای برداشت و عمود بر راستای برداشت، داده ها در قالب ۱۰ فایل به نرم افزار *RES2DINV* [لوک ۲۰۰۰] داده شد و مدل های حاصل با اطلاعات زمین شناسی مقایسه گردیدند و سپس با ایجاد تغییرات در پارامتر های مختلف، مدل هایی که بیشترین انطباق را با اطلاعات زمین شناسی و مدل های یک بعدی ذکر شده داشتند، انتخاب شدند.

۳-۶ توپوگرافی و تصحیح اثرات آن توسط نرم افزار *RES2DINV*

توپوگرافی بر روی مقاومت ویژه اثر دارد، زیرا باعث تمرکز جریان در زیر دره ها و واگرایی جریان در

زیر تپه ها می گردد (شکل ۳-۱۹). در نتیجه باعث انحراف خطوط هم پتانسیل می شود. از این رو می تواند باعث ایجاد آنومالی کاذب شود و یا ممکن است باعث پوشش^{۳۶} اثر یک آنومالی واقعی گردد [فوکس و همکارانش، ۱۹۸۰]. بنابراین زمانی که توپوگرافی شدید باشد بایستی اثرات آن را تصحیح کرد. نرم افزار *RES2DINV* با استفاده از روش اجزاء محدود تصحیح توپوگرافی را انجام می دهد و زمانی که فایل داده شده به آن حاوی اطلاعات مربوط به توپوگرافی منطقه باشد، بطور پیش فرض روش المان محدود را بکار خواهد برد. چرا که این روش مدل سازی را در مواقعی که تغییرات شدید توپوگرافی وجود داشته باشد با دقت بیشتری انجام می دهد.



شکل ۳-۱۹: تاثیر توپوگرافی بر روی سطوح هم پتانسیل و خطوط جریان [فوکس و همکارانش، ۱۹۸۰]

۷-۳ تفسیر نتایج مدل سازی های یک و دو بعدی

در این بخش به بررسی و تفسیر نتایج مدل سازی پرداخته شده است. از آنجا که عملکرد گسل باعث جابجا شدن لایه ها می گردد و در نتیجه تغییرات ناگهانی در مقاومت ویژه مشاهده می گردد، در شبه مقاطع دو بعدی حاصل از کنار هم قرار دادن نتایج مدل سازی یک بعدی سونداژ های هر پروفیل هر جا که جابجایی در لایه ها دیده شده و یا اینکه با تغییرات قابل ملاحظه (شدید) مقاومت ویژه در راستای جانبی مواجه بودیم محل های مذکور به عملکرد گسل های احتمالی یا شکستگیها ارتباط داده شده و با خط چین سیاه رنگ مشخص شده است. در ادامه قسمتی از پروفیلها و سونداژها همراه با تفسیر آن آمده است، و بقیه در پیوست ب گنجانده شده است.

³⁶ Mask

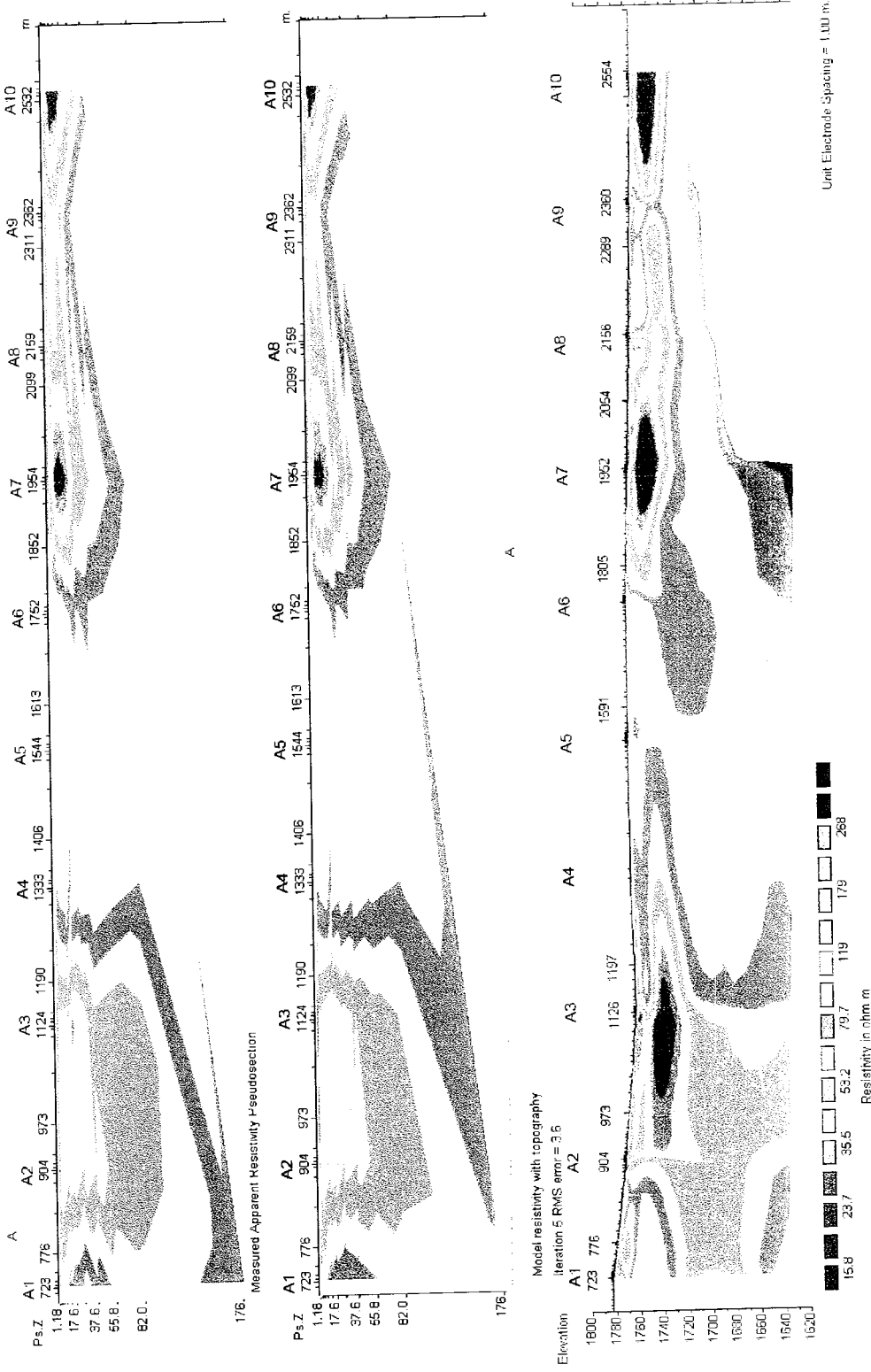
۳-۷-۱ پروفیل A

این مقطع (شکل ۳-۲۰) از نتایج سونداژهای $A-3$ ، $A-2$ ، $A-1$ ، $A-0$ ، $A1$ ، $A2$ ، $A3$ ، $A4$ ، $A5$ ، $A6$ ، $A7$ ، $A8$ ، $A9$ و $A10$ (سونداژ) رسم شده است. لایه های تفکیک شده بر اساس جنس آنها عبارت است از:

الف) لایه آبرفتی ماسه ای شنی: حداکثر ضخامت این رسوبات آبرفتی ۱۹۰ متر در محل سونداژ $A1$ و حداقل آن ۱۰ متر در محل سونداژ $A3$ است. مقاومت ویژه آن از حداقل ۲۵ اهم متر در محل سونداژ $A10$ تا حداکثر ۱۵۰ اهم متر در محل سونداژهای $A4$ و $A5$ متغیر است.

ب) لایه اسلیت آهکی: لایه اسلیت آهکی دارای حداکثر ضخامت حدود ۶۰ متر به سمت سونداژهای $A4$ و $A5$ و حداقل ضخامت برابر ۲۰ متر به سمت سونداژ $A-0$ و در محل سونداژ $A1$ است. مقاومت ویژه آن از حداقل ۹۰ اهم-متر در محل سونداژ $A1$ تا حداکثر ۳۰۰ اهم-متر در محل سونداژ $A8$ متغیر است. لازم به توضیح است این لایه سنگ کف آبرفتها را در محدوده سونداژهای $A1$ تا $A10$ تشکیل می دهد.

پ) لایه دیوریتی و سنگ آهک متبلور: این لایه عمدتاً قاعده اسلیت های آهکی را از محل سونداژ $A1$ تا $A10$ (به سمت جنوب شرق) تشکیل می دهد. مقاومت لایه دیوریتی بالاتر از ۴۰۰ اهم متر است اما لایه سنگ آهک متبلور از ۴۰۰ تا ۹۰۰ اهم متر تغییرات دارد.



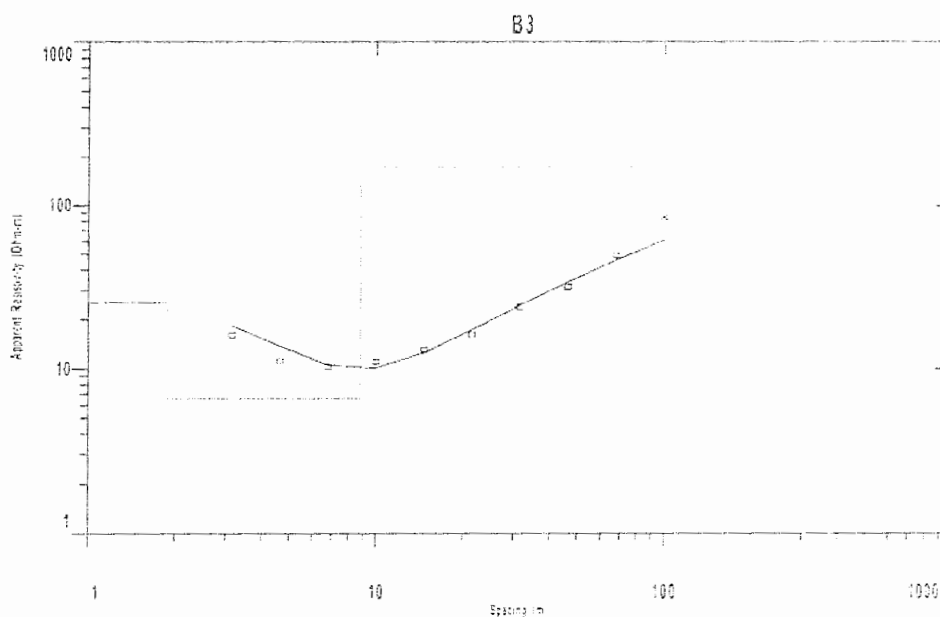
شکل ۳-۲۰: مدل دوبعدی پروفیل A همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

۲-۷-۳ پروفیل B

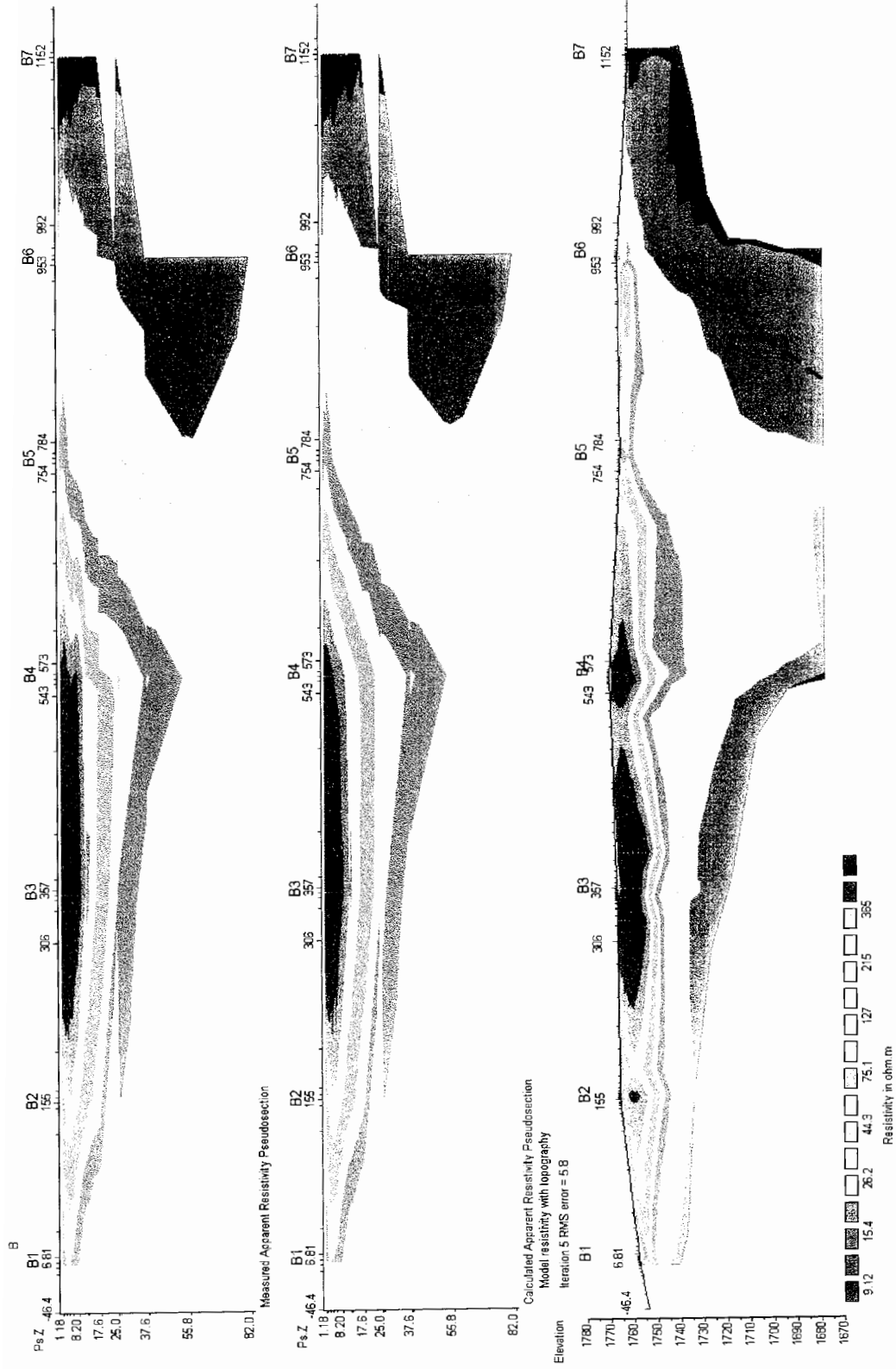
شکل ۲۱-۳ مدل یک بعدی سونداژ B3 را که با نرم افزار IXID تهیه شده است، نشان می دهد. نتایج حاصل از مدلسازی دو بعدی پروفیل B در شکل ۲۲-۳ نشان داده شده است. مقطع نشان داده شده در شکل ۲۲-۳ از نتایج سونداژهای B1، B2، B3، B4، B5، B6 و B7 رسم شده است. لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از :

لایه آبرفتی ماسه ای شنی: این لایه دارای حداکثر ضخامت حدود ۱۲ متر در محل سونداژ B2 بوده و حداقل ضخامت آن حدود ۳ متر در محل سونداژ B7 است. مقاومت ویژه آن از حداقل ۱۰ اهم-متر در محل سونداژ B3 تا ۲۹۰ اهم-متر در محل سونداژ B6 متغیر است .

لایه سنگ کف اسلیت آهکی و دیوریتی: قاعده آبرفتیهای مقطع مورد نظر را در محل بین سونداژ B5 و B6 و محل سونداژ های B1 و B2 را با کنتاکت گسلی توده نفوذی دیوریتی با مقاومت حداقل ۲۶۰ اهم متر تا حداکثر ۶۰۰ اهم متر و قاعده آبرفت ها را در محل سونداژ های B2 تا B5 اسلیت آهکی با حداقل مقاومت ویژه ۱۲۰ اهم-متر و حداکثر ۱۸۰ اهم-متر تشکیل داده است. بدیهی است حداقل عمق سنگ کف در منطقه حدود ۳ متر در محل سونداژ B7 و حداکثر عمق آن در محل سونداژ B2 برابر ۱۲ متر است.



شکل ۲۱-۳: مدل یک بعدی سونداژ B3 با استفاده از نرم افزار IXID



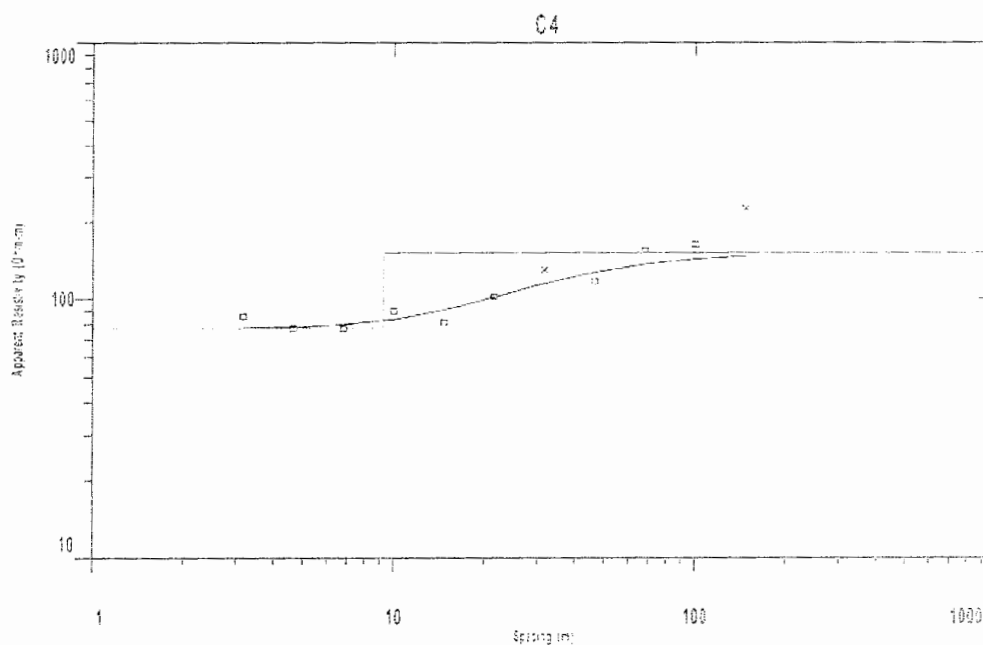
شکل ۳-۲۲: مدل دوبعدی پروفیل B همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

۳-۷-۳ پروفیل C

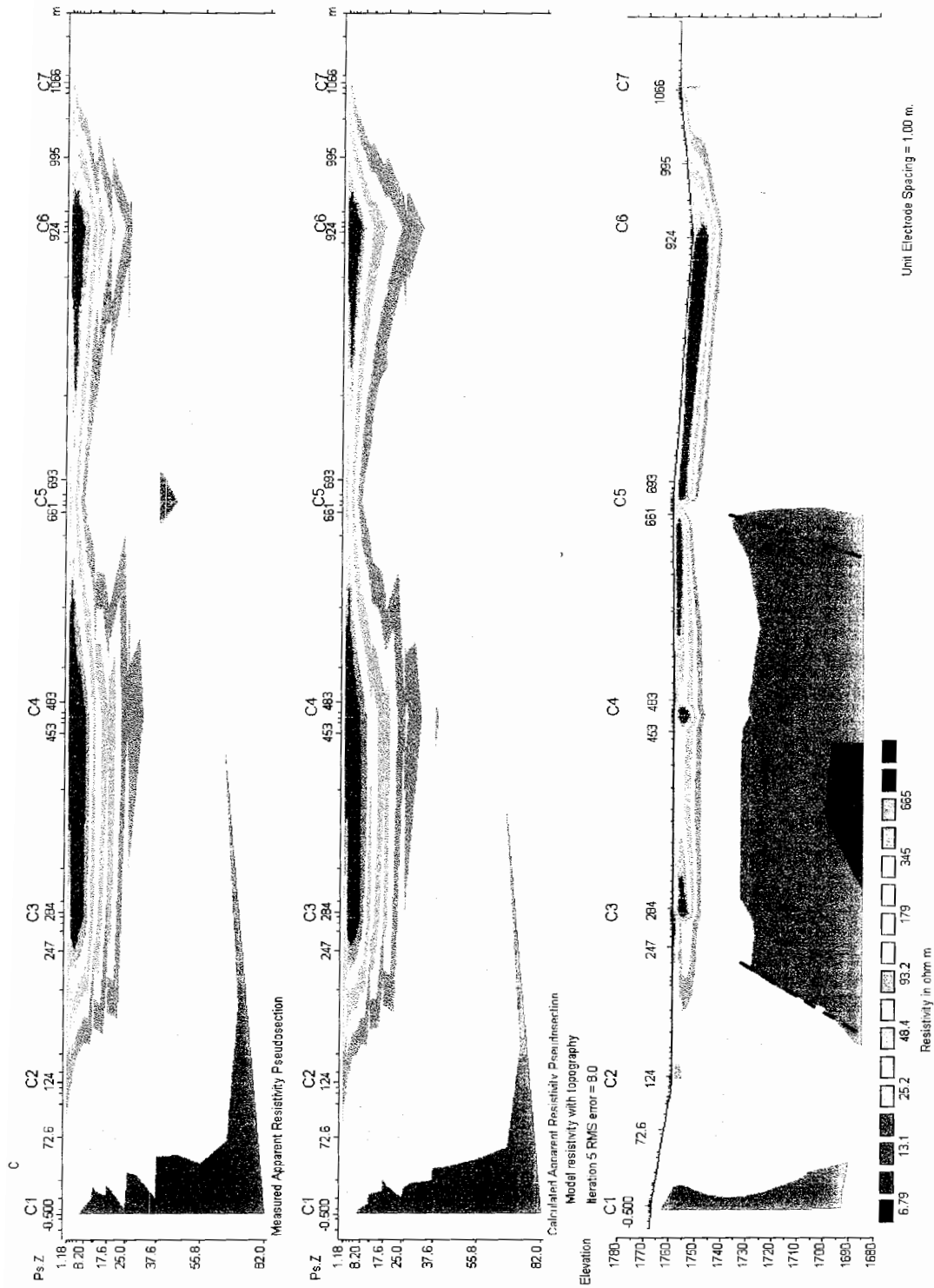
این مقطع (شکل ۳-۲۴) از نتایج سونداژهای C1، C2، C3، C4، C5، C6 و C7 رسم شده است. لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از:

لایه آبرفتی ماسه ای شنی: متوسط ضخامت آن حدود ۱۰ متر و حداقل ضخامت آن ۳ متر در محل سونداژ C7 می باشد. مقاومت ویژه آن از حداقل ۱۸ اهم متر در محل سونداژهای C6 و حداکثر آن ۲۷۰ اهم متر در محل سونداژ C1 متغیر است.

لایه سنگ کف اسلیت آهکی و دیوریتی: قاعده آبرفتها را در محل سونداژ C3 و C4 آهک اسلیتی با طیف مقاومتی ۱۳۰ تا ۱۶۰ اهم متر است. در محل سونداژهای C3 و C5 شکستگی وجود دارد که تغییرات مقاومت آن از ۳۰۰ اهم متر تا ۶۰۰ اهم متر است.



شکل ۳-۲۳: مدل یک بعدی سونداژ C4 با استفاده از نرم افزار IXID



شکل ۳-۲۴: مدل دوپودی پروفیل C همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

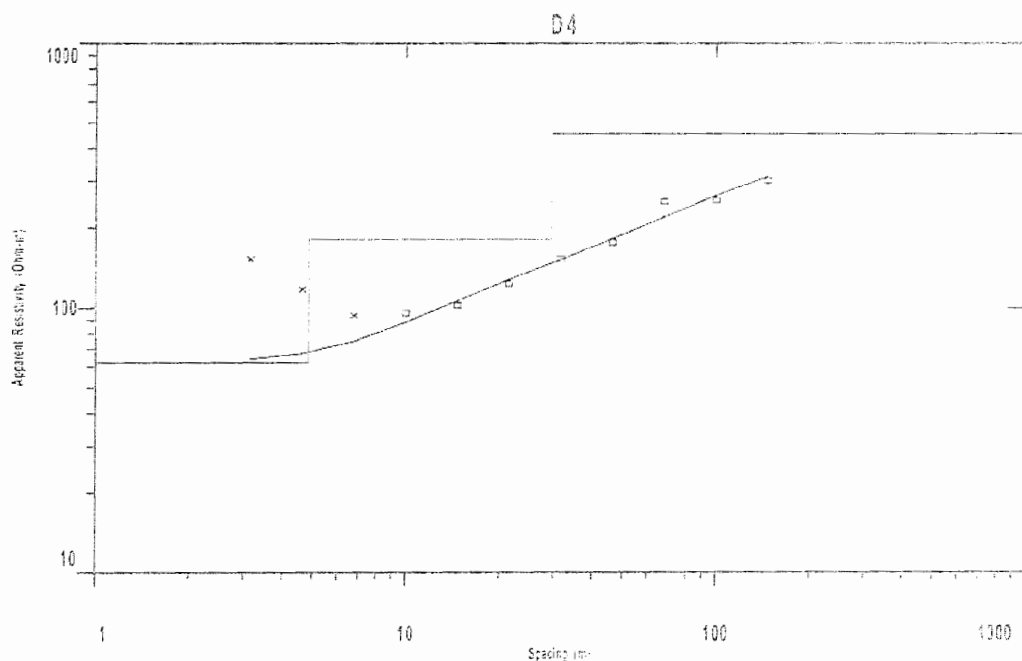
۳-۷-۴ پروفیل D

این مقطع (شکل ۳-۲۶) از نتایج سونداژهای $D1$ ، $D2$ ، $D3$ ، $D4$ و $D5$ رسم شده است لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از :

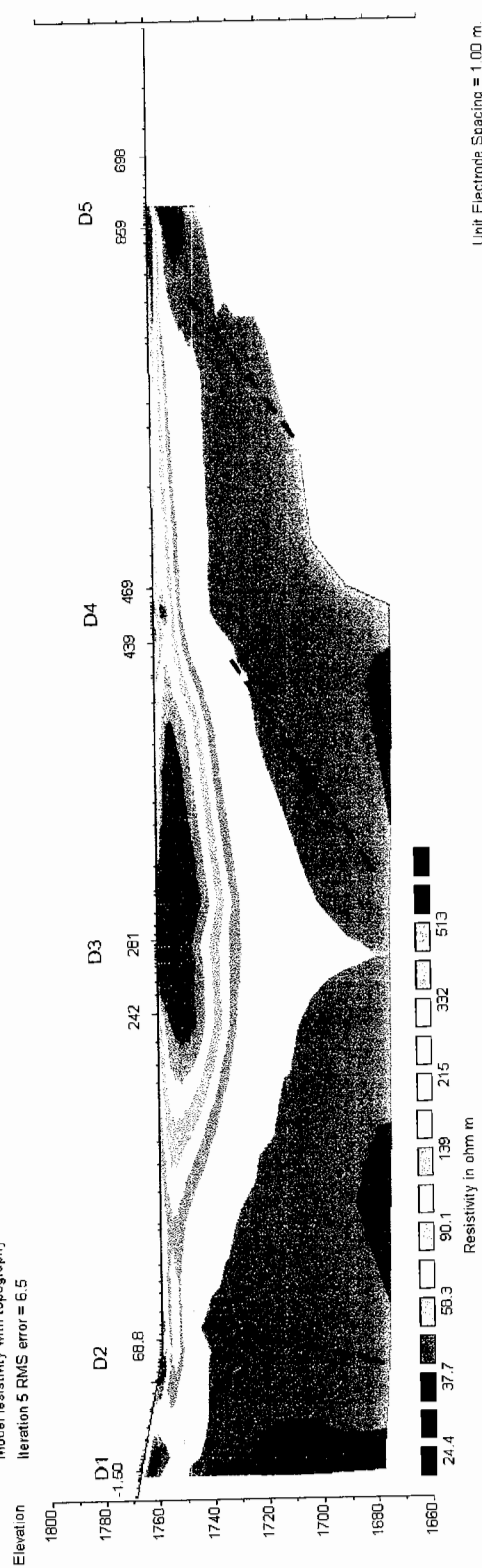
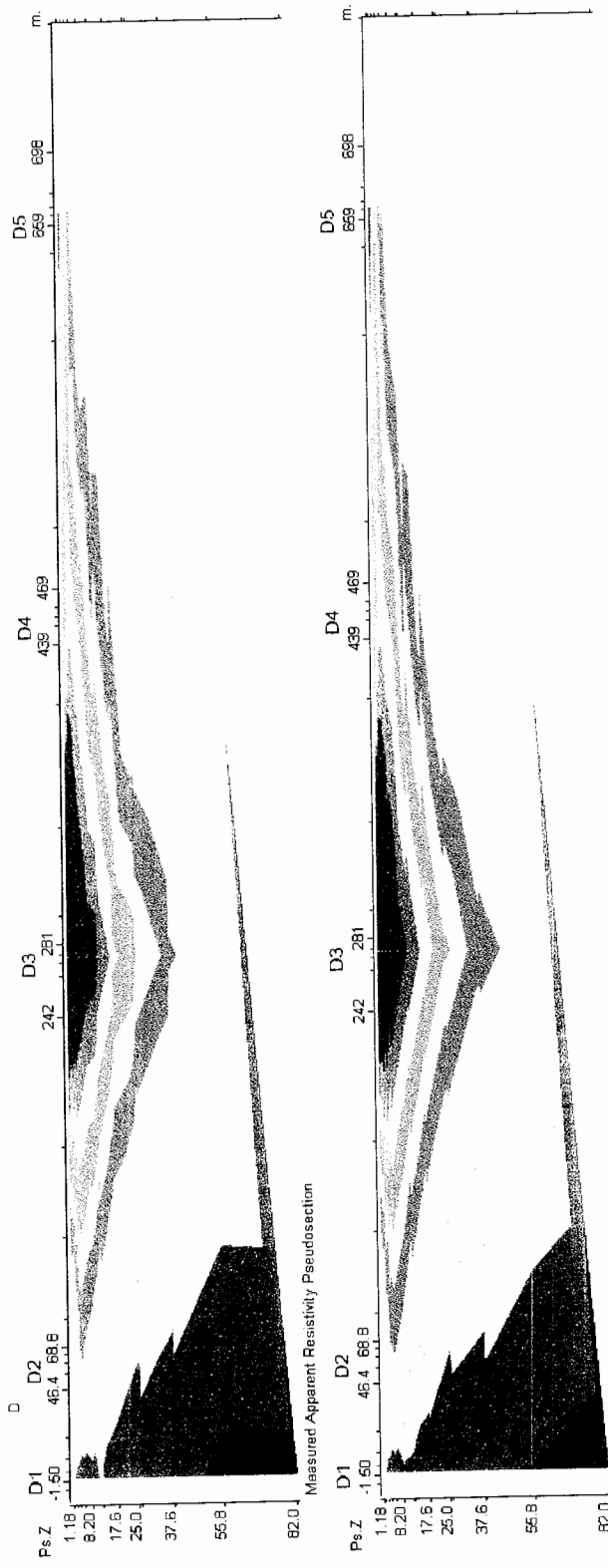
لایه آبرفتی ماسه ای شنی : ضخامت متوسط آن ۷ متر می باشد و حداقل ضخامت آن یک متر در محل سونداژ های $D1$ و $D2$ است مقاومت ویژه آن از حداقل ۲۰ اهم متر در محل سونداژ $D3$ تا حداکثر ۶۰ اهم متر در سونداژ $D4$ متغیر است .

لایه اسلیت آهکی : این لایه سنگ کف آبرفتی فوق را تشکیل می دهد حداقل مقاومت آن ۵۵ اهم متر در محل سونداژ $D3$ و حداکثر مقاومت آن ۳۶۰ اهم متر در محل سونداژ $D4$ است. این لایه در محل بین سونداژ های $D2$ و $D3$ و محل بین $D3$ و $D4$ و همچنین محل بین $D4$ و $D5$ گسلی است .

لایه دیوریتی: قاعده اسلیت آهکی را در عمق متوسط ۲۵ متری دیوریت تشکیل داده که گسله می باشد و مقاومت آن از حداقل ۵۰۰ اهم متر در محل سونداژ های $D2$ و $D5$ و حداکثر ۷۰۰ اهم متر در محل سونداژ $D4$ متغیر است.



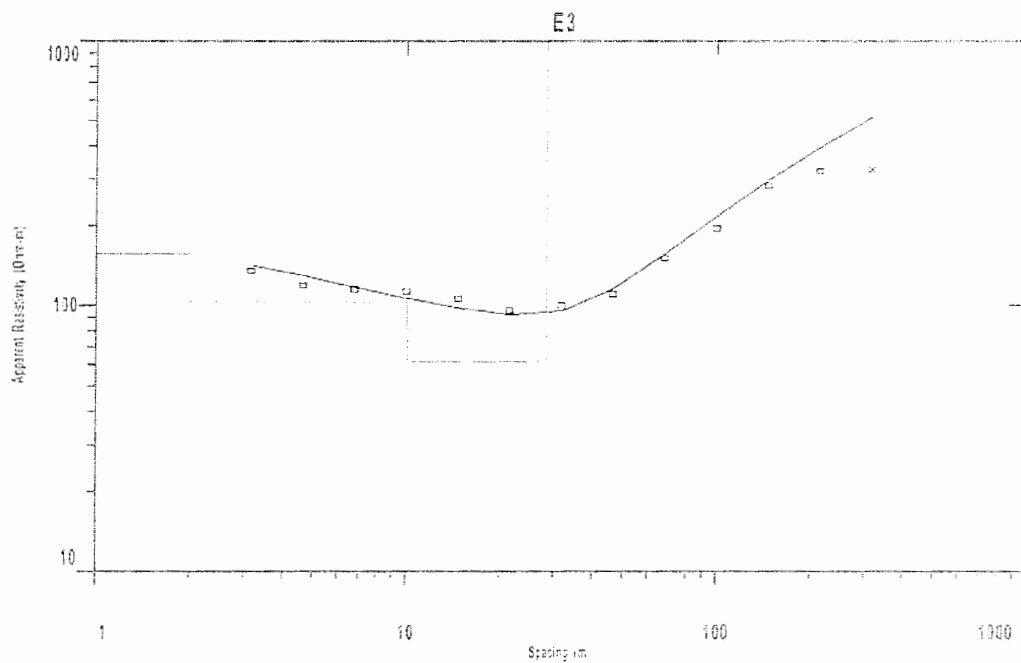
شکل ۳-۲۵: مدل یک بعدی سونداژ $D4$ با استفاده از نرم افزار IXID



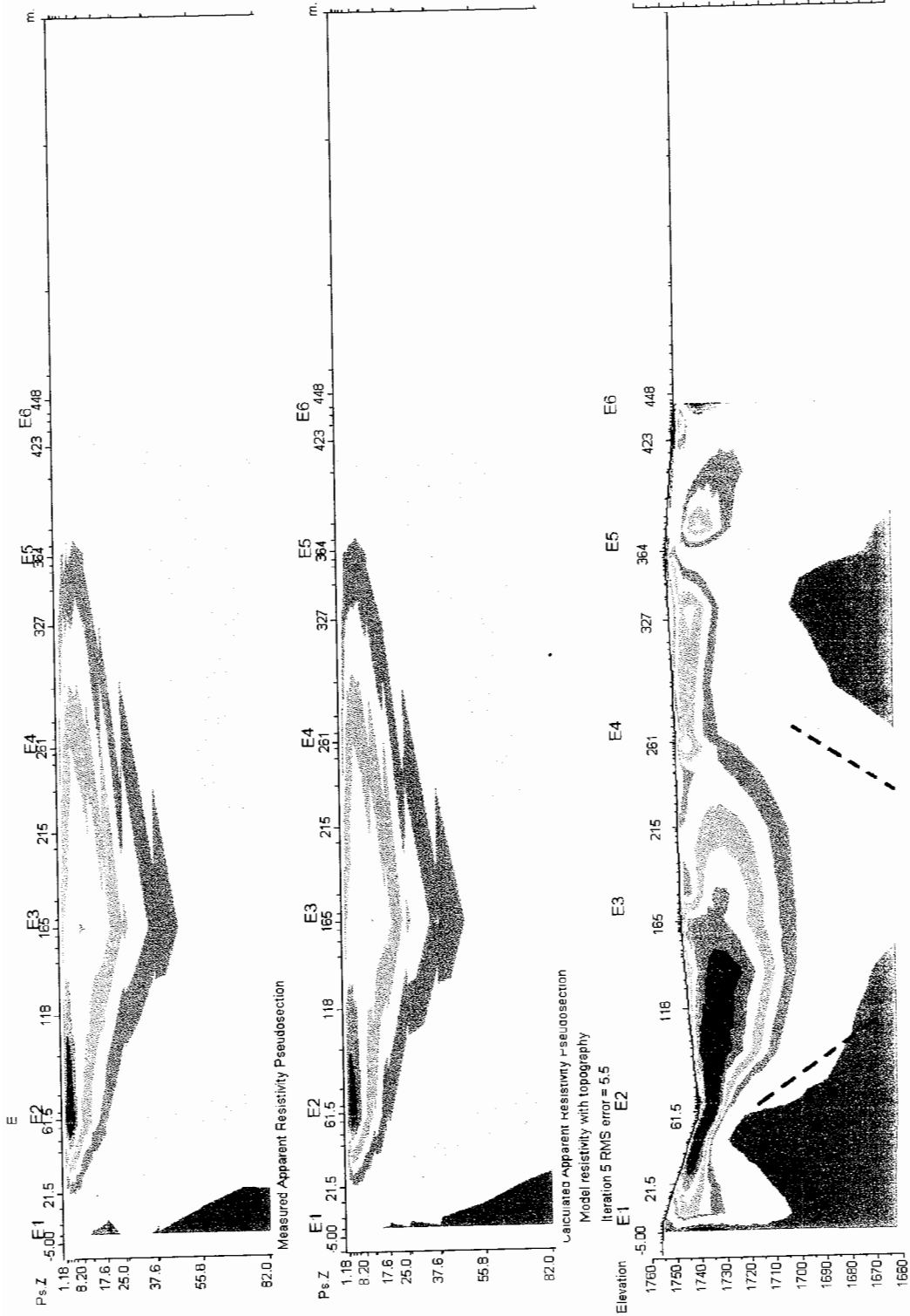
شکل ۳-۲۶: مدل دوبعدی پروفیل *D* همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

۳-۷-۵ پروفیل E

این مقطع (شکل ۳-۲۸) از نتایج سونداژهای $E1$ ، $E2$ ، $E3$ ، $E4$ ، $E5$ و $E6$ (شکل ۳-۲۷) رسم شده است لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از:
 لایه آبرفتی ماسه ای شنی : ضخامت متوسط آن ۱۰ متر و مقاومت ویژه آن از حداقل ۴۶ اهم متر در محل سونداژ $E2$ تا حداکثر ۳۵۰ اهم-متر در محل سونداژ $E1$ متغیر است .



شکل ۳-۲۷: مدل یک بعدی سونداژ $E3$ با استفاده از نرم افزار *IXID*



Unit Electrode Spacing = 1.00 m.

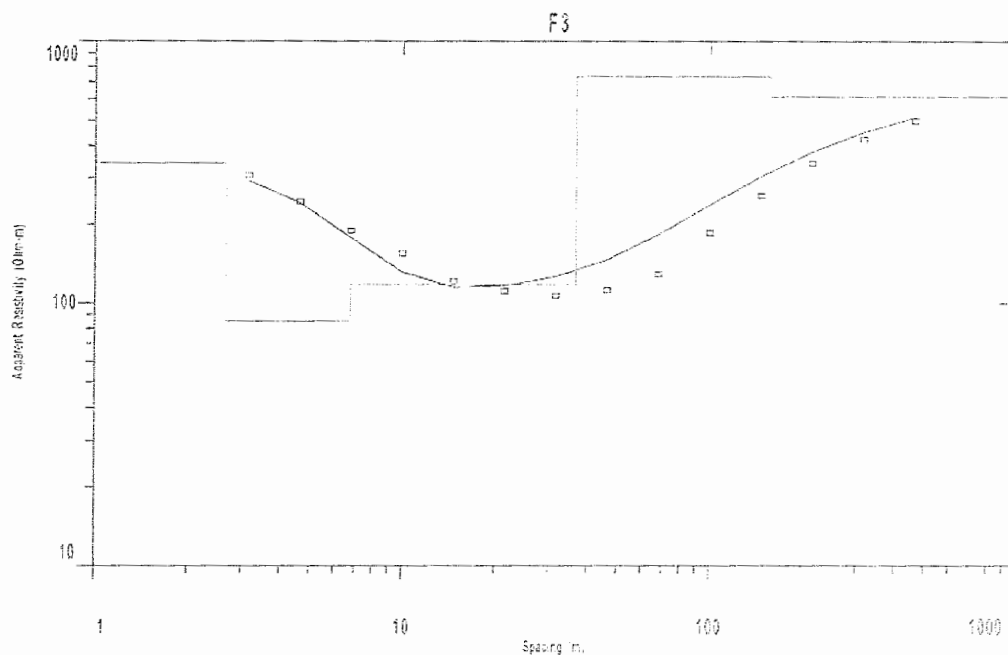
شکل ۲۸-۳: مدل دوبعدی پروفیل *F* همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

لایه اسلیتی و دیوریتی : این لایه سنگ کف آبرفت های منطقه را در عمق متوسط ۱۰ متری شامل می شود. مقاومت آن از حداقل ۷۰ اهم متر در محل سونداژ E3 تا حداکثر ۶۲۰ اهم متر متغیر است در محل سونداژهای E1 تا E3 و E5 و همچنین E6 سنگ کف آبرفت های فوق را دیوریت با حداقل مقاومت ویژه ۱۱۰۰ اهم متر در محل سونداژ E2 تا حداکثر ۱۸۰۰ اهم متر در محل سونداژ E1 تشکیل داده است.

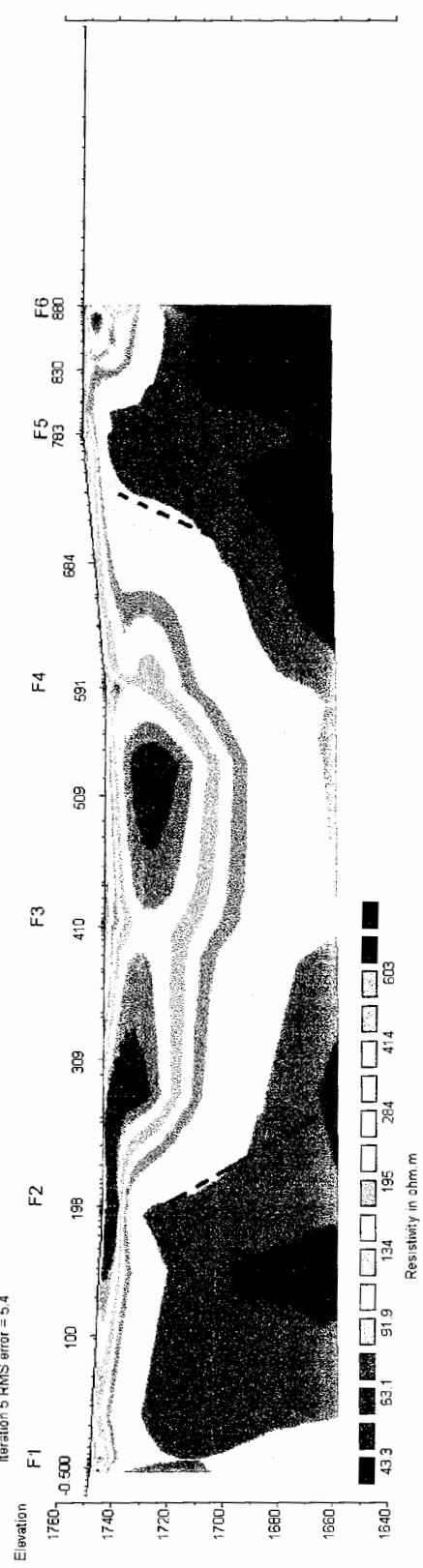
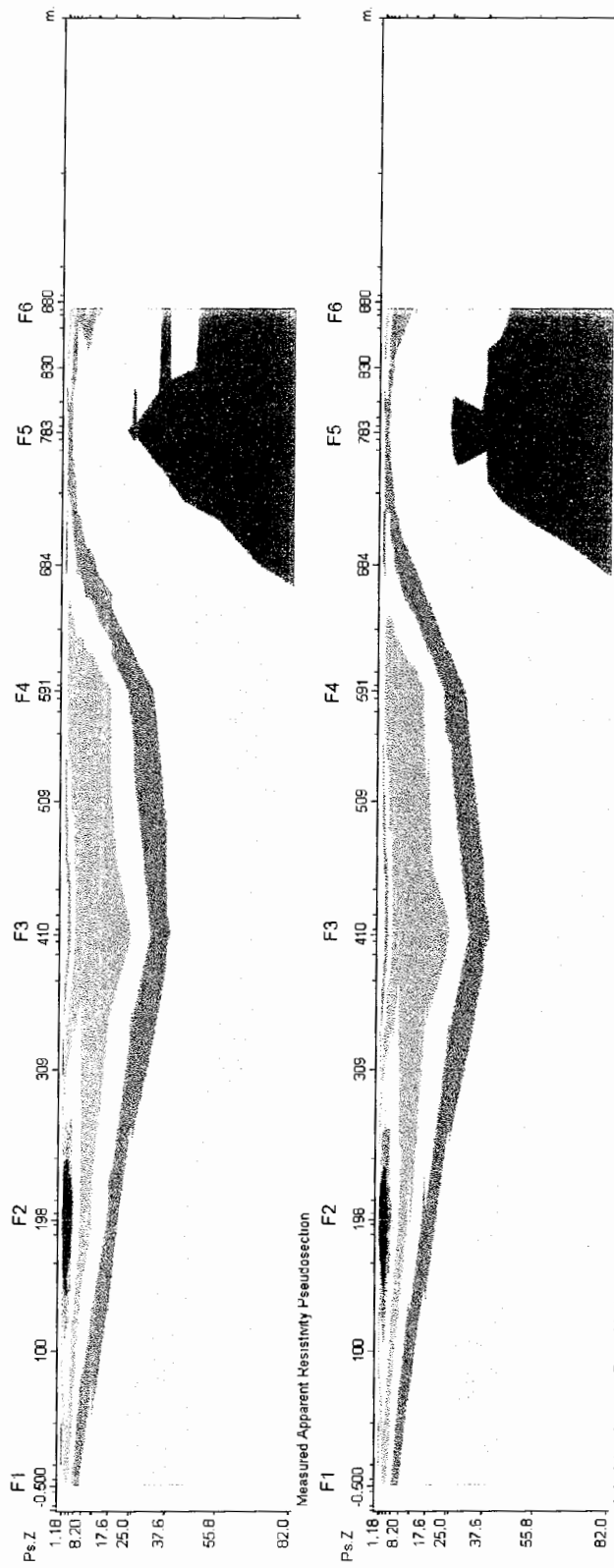
لایه آهک اسلیتی: قاعده اسلیت ها و دیوریت ها را آهک در عمق متوسط ۲۵ متر شامل می شود. مقاومت ویژه آن از حداقل ۳۶۰ اهم متر در محل سونداژ E6 تا حداکثر ۱۲۰۰ اهم متر در محل سونداژ E3 متغیر است.

۳-۷-۶ پروفیل F

این مقطع (شکل ۳-۳۰) از نتایج سونداژهای F1 ، F2 ، F3 ، F4 ، F5 ، F6 و F7 (شکل ۳-۲۹) ترسیم شده است لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از :
 لایه آبرفتی ماسه ای شنی : ضخامت متوسط آن ۱۰ متر و مقاومت ویژه آن از حداقل ۵۰ اهم-متر در محل سونداژ F2 تا حداقل ۱۲۰ اهم-متر در محل سونداژ F5 متغیر است.



شکل ۳-۲۹: مدل یک بعدی سونداژ F3 با استفاده از نرم افزار IXID



Unit Electrode Spacing = 100 m

شکل ۳-۳: مدل دوقبلی پروفیل F همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرایی

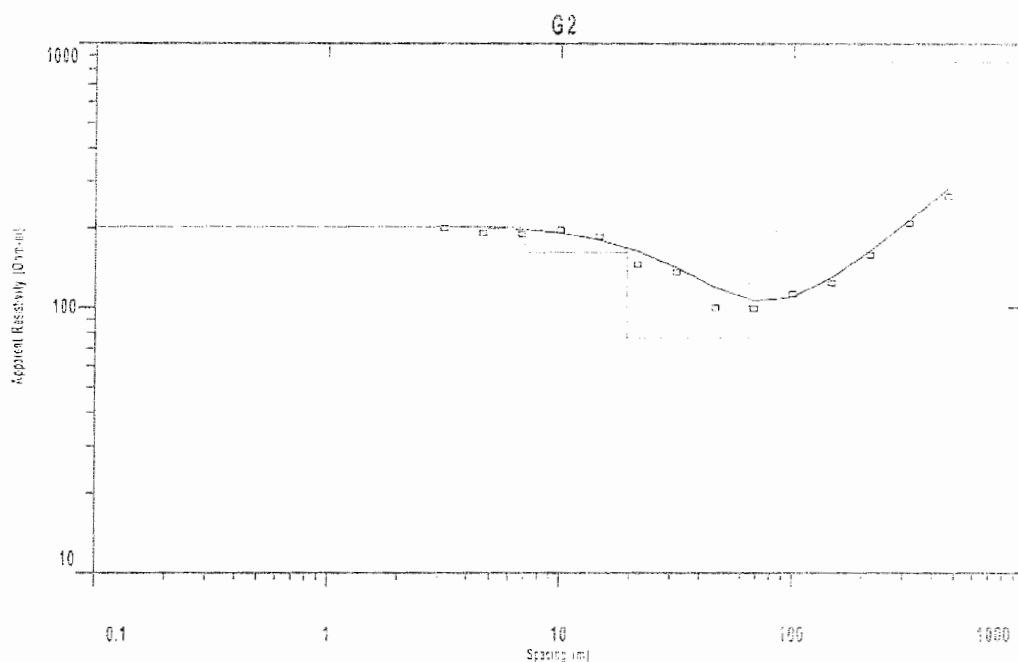
لایه اسلیت آهکی: این لایه سنگ کف آبرفت های مورد نظر را شامل می شود ضخامت متوسط آن ۳۰ متر و مقاومت ویژه آن از حداقل ۱۲۰ اهم-متر تا حداکثر ۴۶۰ اهم-متر در محل سونداژ *F1* متغیر است .

لایه دیوریتی: قاعده اسلیت های آهکی را توده نفوذی دیوریتی شامل شده که در عمق ۴۰ متری قرار دارد حداقل مقاومت آن ۵۲۰ اهم متر در محل سونداژ *F4* و حداکثر مقاومت آن ۹۰۰ اهم متر در محل سونداژ *F2* است در کل لایه های مورد نظر گسل خورده می باشد ضمناً اسلیت آهکی قاعده دیوریتها را نیز شامل شده و به نظر می رسد توده نفوذی در داخل اسلیت ها نفوذ کرده است.

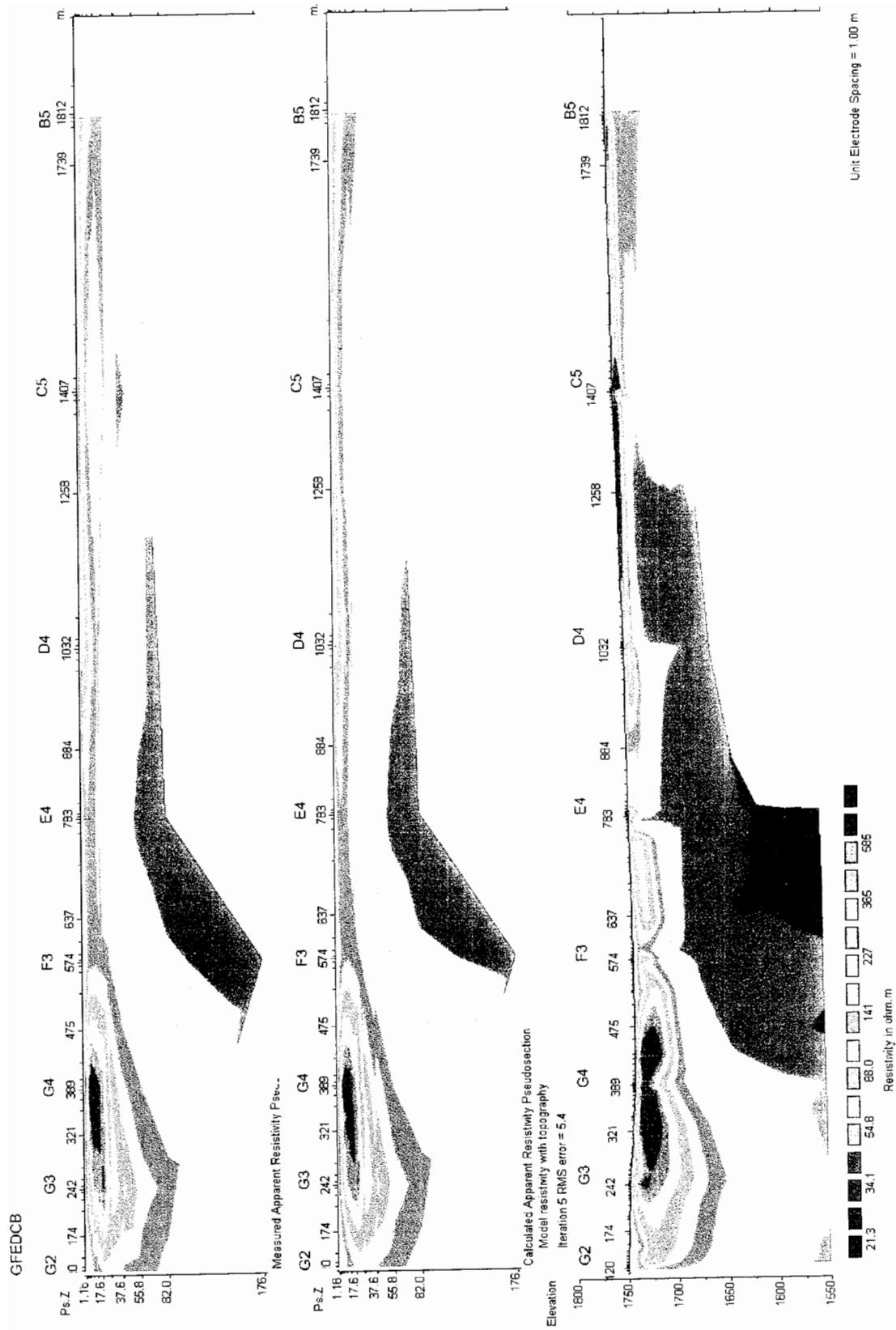
۷-۷-۳ پروفیل *G*

این مقطع (شکل ۳-۳۲) از نتایج سونداژهای *G1*، *G2*، *G3* و *G4* (شکل ۳-۳۱) ترسیم شده است لایه های تفکیک شده بر اساس جنس لایه ها عبارت است از :

لایه آبرفتی ماسه ای شنی: این لایه دارای حداقل ضخامت ۴۰ متر در محل سونداژ *G4* و حداکثر ضخامت ۱۴۰ متر در محل سونداژ *G1* است مقاومت ویژه آن از حداقل ۳۵ اهم-متر در محل سونداژ *G4* تا حداکثر ۱۳۰ اهم-متر در محل سونداژ *G1* متغیر است.



شکل ۳-۳۱: مدل یک بعدی سونداژ *G2* با استفاده از نرم افزار *IXID*



شکل ۳-۳: مدل دویعدی پروفیل C همراه شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری حاصل از مدل و داده های صحرائی

لایه اسلیت آهکی: سنگ کف آبرفت های فوق را شامل شده که عمق آن درمحل سونداژ *GI* در ۱۴۰ متری و به سمت سونداژ *G4* کم شده و به ۴۰ متری می رسد. مقاومت ویژه آن از حداقل ۹۰ اهم-متر در محل سونداژ *G4* تا حداکثر ۳۰۰ اهم-متر در محل سونداژ *GI* متغیر است.

لایه دیوریتی: این توده نفوذی قاعده اسلیت های آهکی را شامل شده که مقاومت ویژه آن از حداقل ۵۰۰ اهم-متر در محل سونداژ *G4* تا حداکثر ۹۰۰ اهم-متر در محل سونداژ *GI* شامل می شود.

۳-۸ مدل شبه سه بعدی محل دفن زباله ها

برای اینکه بتوان روند تغییرات داده های مقاومت ویژه را در محل دفن زباله ها با توجه به داده های مدلسازی دوبعدی بهتر مشخص کرد، با استفاده مدل های دوبعدی پروفیل های *D, C, B, E* و *F* شبه مقطع سه بعدی از منطقه با استفاده از نرم افزار *Rockwork2004* [اراک ویر ۲۰۰۴^{۳۷}] ارائه شد، تا روند تغییرات مقاومت ویژه که نشان دهنده ساختارهای مختلف زمین شناسی محل دفن و همچنین شمای کلی از آن ساختارها می باشد را به تصویر بکشد.

روند کار به این صورت بود که مدل های دو بعدی حاصل از پروفیل های ذکر شده در بالا توسط نرم افزار *Res2DINV* به شکل رقمی در آورده شدند. داده های رقمی شده به فرمت *XYZ* ذخیره شدند و با استفاده از نرم افزار *Excel* داده های پروفیل های مختلف با توجه به مختصات پروفیلها در یک فایل قرار گرفتند. سپس این فایل به عنوان ورودی به نرم افزار *Rockwork2004* داده شد که توسط این نرم افزار مدل شبه سه بعدی داده ها (شکل ۳-۳۳) حاصل گردید. با استفاده از این نرم افزار مقاطع عمودی (شمالی- جنوبی یا شرقی- غربی) یا افقی نیز حاصل شد که در زیر بعضی از این مقاطع آورده شده اند.

با بررسی این شبه مقطع سه بعدی (۰) به طور وضوح مکان های با مقاومت ویژه پایین که بین ۰ تا ۳۰ اهم-متر متغیر می باشند، با رنگ های آبی پررنگ دیده می شوند که این مکانها تشکیلات دانه ریز رسی می باشند که به نظر می رسد شیرابه های تشکیل شده در آنها جذب شده و تا حدی باعث پایین آمدن مقاومت های ویژه در این نواحی گردیده اند که بیشتر در محل دفن زباله ها قرار می گیرند. در محل سونداژهای *B2, B3, B4, B5, C5* و *D4* به وضوح این مقاومت های پایین دیده می شوند.

³⁷ Rockware

با نگاه در عمق که در دیواره های مقطع رویت می شود ناپیوستگیها با تغییر مقاومت های ویژه موضعی، به وضوح مشاهده و تفسیر می گردند.



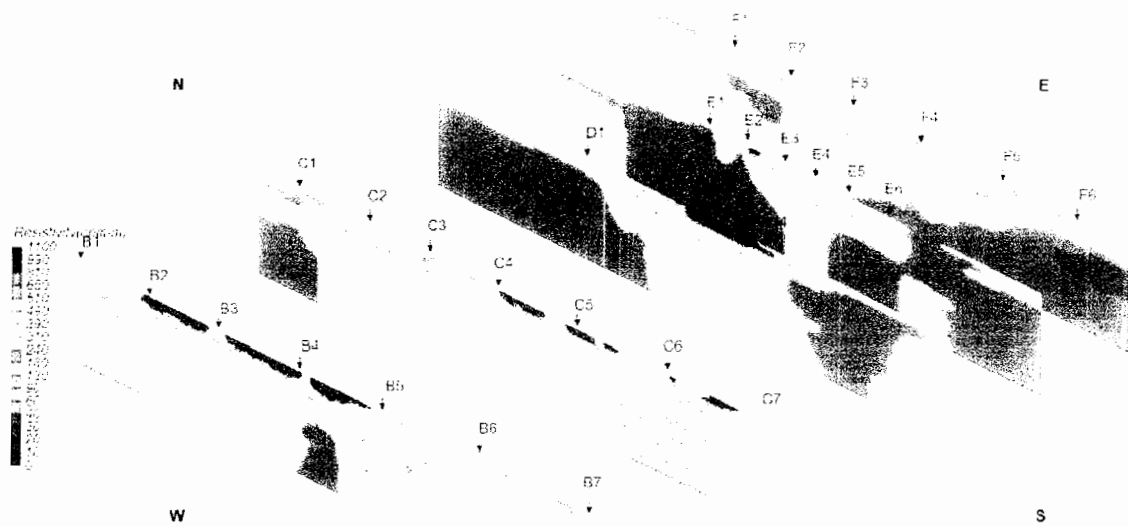
شکل ۳-۳۳: مدل شبه سه بعدی از محل دفن زباله های شهر اراک

در شکل ۳-۳۴ که با استفاده از نرم افزار *Rockwork2004* تهیه شده است، حجم آبرفتی که در محل دفن زباله ها قرار دارد و دارای محدوده مقاومتی ۱۰ تا ۱۰۰ اهم - متر است، نشان داده شده است، که این نرم افزار حجم آن را ۱۰،۰۰۰،۰۰۰ متر مکعب برآورد کرده است.

با استفاده از نرم افزار *Rockwork2004* شبه مقطع دو بعدی در مکان پروفیلها زده شد که در شکل ۳-۳۵ ملاحظه می کنید. با ملاحظه این مقاطع عرضی استخراج شده، مناطق آلوده شده رسی که عمق آنها کمتر از ۲۰ متر می باشند باز به وضوح در مقطع عرضی *B* در محل سونداژهای *B2*، *B3* و *B4* و همچنین در مقطع *C*، در محل سونداژهای *C4* و *C5* و در مقطع عرضی *D* در محل سونداژهای *D3* و *D4* رویت می باشند. در شکل ۳-۳۵ شکستگیها به طور کیفی، به شکل ناپیوستگیهای مقاومت ویژه ظاهری مشاهده می گردند.



شکل ۳-۳۴: حجم تقریبی آبفت در محل دفن زباله های اراک



شکل ۳-۳۵: محل مقطع تقریبی پروفیلها که از مدل شبه سه بعدی به دست آمده است

۳-۹ عمق سنگ کف

از روی مقاطع هم عمق (افقی) تهیه شده در سطح محل دفن زباله (شکل ۳-۳۶) می توان ترکیبات دانه ریز رسی همراه با شیرابه های جذب شده در آن را با رنگهای آبی تند (مقاومتهای کمتر از ۳۰ اهم متر)، مشاهده نمود. مقطع افقی دوم در عمق ۲۰ متر انتخاب شده است که ناپدید شدن نواحی کم عمق رسی را نشان می دهد، که قبلاً ذکر شد. عمق سنگ کف در محل دفن زباله ها کمتر از ۲۰ متر می باشد که در اینجا به خوبی نبود تشکیلات دانه ریز و آلوده شده را نشان می دهد.

سایر مقاطع، تشکیلات مختلف سنگ بستر را نشان می دهد. که منعکس کننده ترکیبات آهکی مختلف با مقاومت ویژه متفاوت می باشد. همچنین از سطح به عمق مقاومت تشکیلات سنگ کف افزایش می یابد.

۳-۱۰ مدلسازی و تفسیر با استفاده از نرم افزار *RES3DINV*

از آنجا که تمام ساختارهای زمین شناسی در طبیعت سه بعدی هستند، برداشت سه بعدی و تفسیر مدل سه بعدی آن از لحاظ تئوری می تواند نتایج دقیق تری را به همراه داشته باشد [لوک ۲۰۰۲]. برداشت سه بعدی و تفسیر آن برای یک منطقه بسیار وسیع هزینه بالایی دارد. بنابراین برداشت سه بعدی به اندازه برداشتهای دو بعدی و یک بعدی رایج نمی باشد.

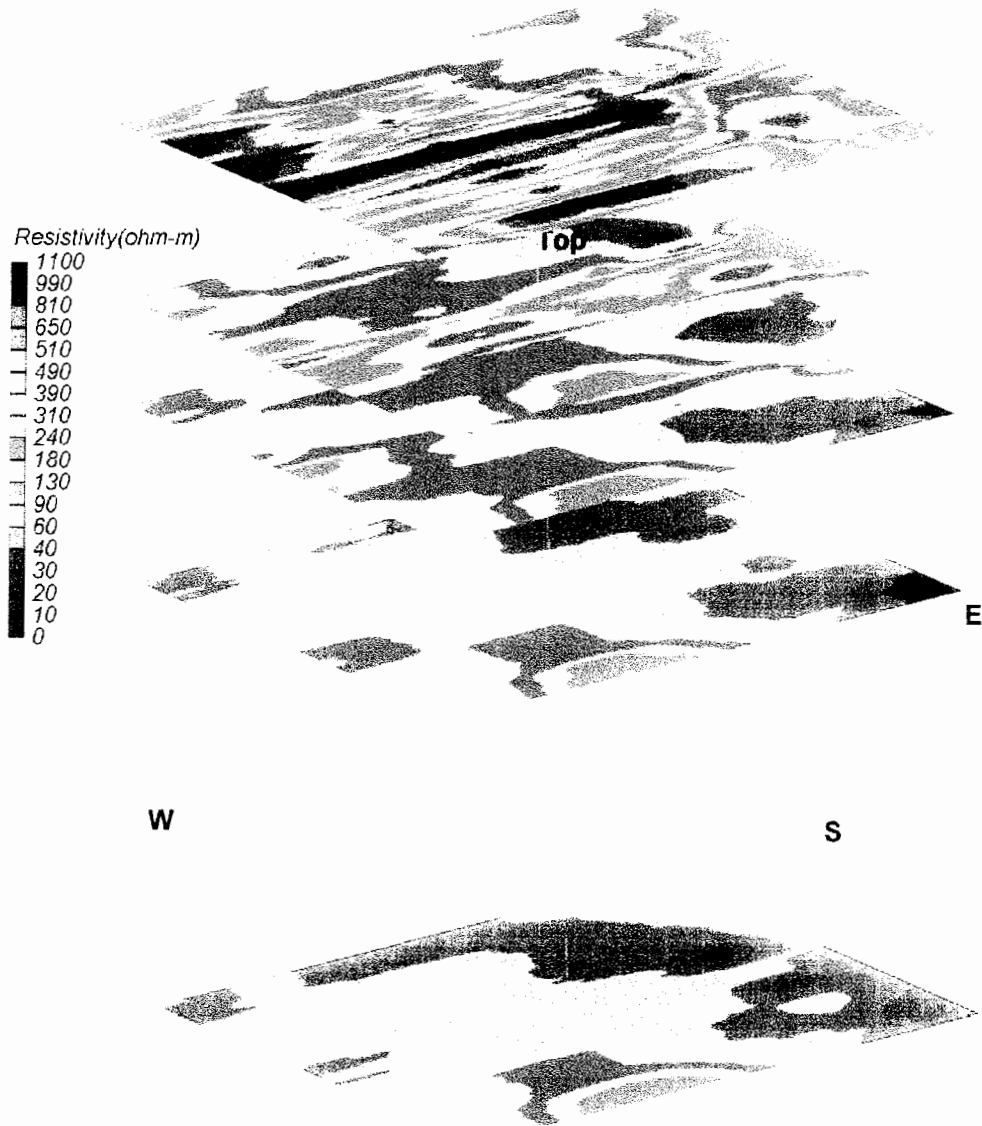
برای مدلسازی سه بعدی داده های برداشت شده، از نرم افزار *Res3DINV* استفاده شده است. نرم افزار *RES3DINV* یک نرم افزار مدلسازی سه بعدی است که می تواند داده های برداشت شده سه بعدی مقاومت ویژه را به صورت سه بعدی مدلسازی کند [لی و اولدنبرگ^{۳۸} ۱۹۹۲]. البته باید توجه داشت که با استفاده از این نرم افزار می توان داده های یک بعدی و دو بعدی را نیز مدلسازی نمود اما دقت آن از داده های برداشت شده سه بعدی کمتر است.

در ادامه روند مدلسازی سه بعدی داده ها شرح داده شده است.

۳-۱۰-۱ آرایه های مورد استفاده در برداشت سه بعدی

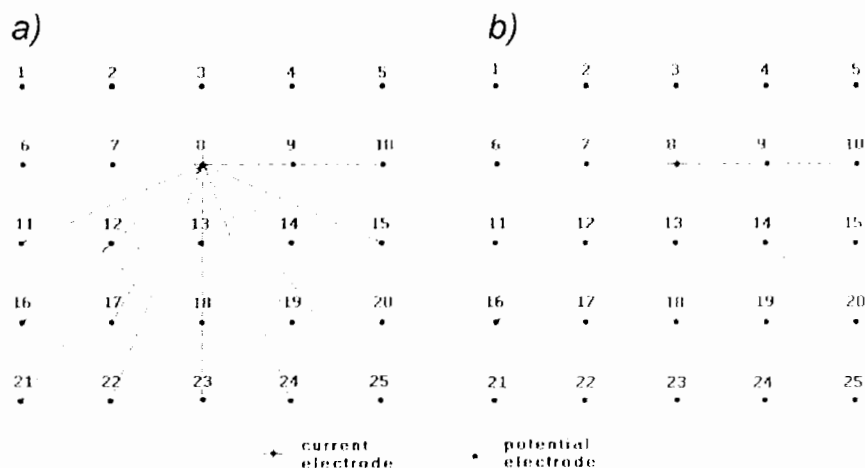
آرایه های قطبی-قطبی، قطبی-دوقطبی و دوقطبی-دوقطبی معمولاً برای برداشتهای سه بعدی

مورد استفاده قرار می گیرند زیرا بقیه آرایه ها پوشش ضعیفی در شبکه برداشت دارند. در شکل ۳-۳۷ نمونه هایی از برداشتهای سه بعدی نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۶: مقاطع افقی از شبه مقطع سه بعدی که تغییرات مقاومت ویژه را با افزایش عمق نشان می دهد.

شکل ۳-۳۷ نمونه ای از آرایش برداشت سه بعدی با استفاده از الکترودهای چندگانه با ۲۵ نقطه را نشان می دهد. برای راحتی کار معمولاً الکترودها در یک شبکه مربعی مانند شکل ۳-۳۸ با فواصل یکسان در راستاهای x و y در نظر گرفته می شوند. البته می توان از یک شبکه با فواصل الکترودی غیر یکسان نیز استفاده نمود.

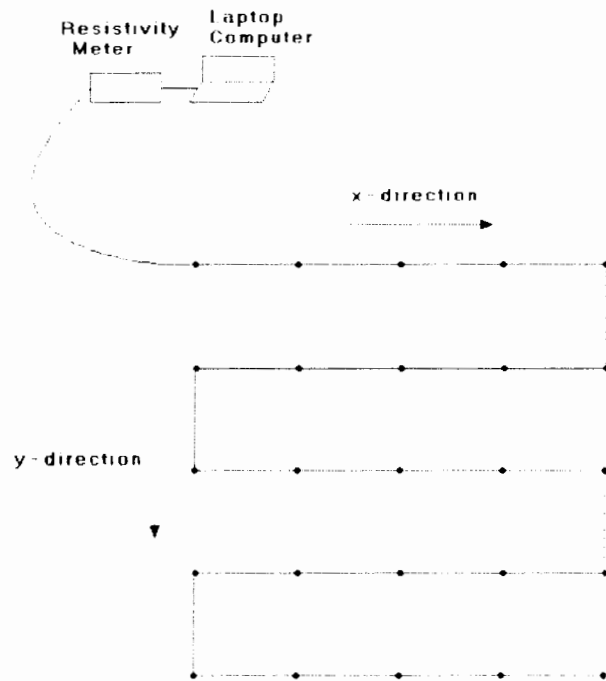


شکل ۳-۳۷: دو نمونه از برداشتهای سه بعدی، پوشش برداشت a از برداشت b کامل تر است [لوک ۲۰۰۲]

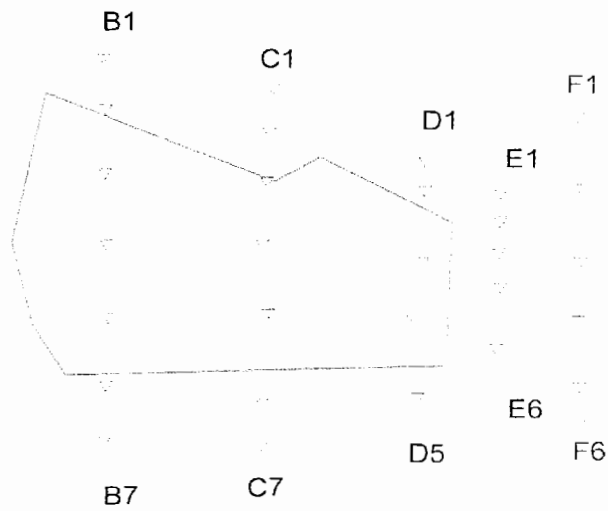
با استفاده از برداشتهای یک بعدی و دوبعدی نیز می توان مدلسازی سه بعدی انجام داد، البته در این حالت پوشش نقاط کمتر از برداشت سه بعدی می باشد. با توجه به مطالب ذکر شده، در محل دفن زباله ها نیز امکان مدلسازی سه بعدی داده ها با استفاده از پروفیلهای B ، C ، D ، E و F وجود دارد، زیرا تمام این پروفیلها شمالی-جنوبی می باشند و می توان نقاط برداشت را در یک شبکه تعریف کرد.

۳-۱۱ شبکه بندی داده ها

یک روش برای شبکه بندی داده های یک بعدی، استفاده از نرم افزار *Res2DINV* است. زیرا این نرم افزار می تواند پروفیلهای موازی را تبدیل به داده های سه بعدی جهت مدلسازی با نرم افزار *Res3DINV* کند، که البته مراحل آن در زیر به طور مختصر توضیح داده شده است.



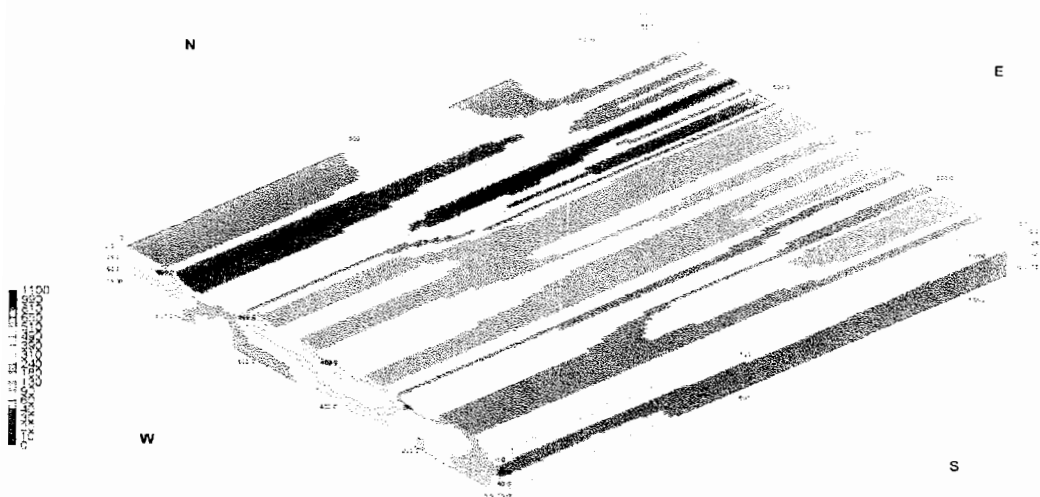
شکل ۳-۳۸: نمونه ای از آرایش الکترودی که برای برداشتهای سه بعدی مورد استفاده قرار می گیرد (لوک ۲۰۰۲).



- سونداژهای مورد استفاده در مدلسازی
- سونداژهای حذف شده
- محدوده دفن زباله

شکل ۳-۳۹: سونداژهای استفاده شده در مدلسازی سه بعدی

همانطور که در شکل ۳-۳۹ ملاحظه می کنید، می توان با حذف یک سری از داده ها در خطوط برداشت، یک شبکه مربعی ساخت. به همین منظور سونداژهای *B1, B7, C1, C7, E5* و *F6* از پروفیلها حذف شدند. البته پروفیل *F* به علت اینکه تعداد نقاط داده ای افزایش می یافت و نرم افزار قادر به دریافت اطلاعات نبود، از مدلسازی حذف شد. پس از حذف تعدادی از سونداژها، سونداژ *B6* به عنوان مبدا مختصات در نظر گرفته شد و مختصات بقیه با توجه به فاصله آنها از سونداژ *B6* تعیین شد. پس از آن، هر یک از خطوط برداشت همانند داده هایی که برای مدلسازی دو بعدی آماده شده بودند، فرمت یافته و با استفاده از نرم افزار *Res2DINV* فایل های ساخته شده، تبدیل به یک فایل سه بعدی شد. با توجه به اینکه محاسبات مربوط به چنین فایل سه بعدی ای که از یک شبکه 4×449 نقطه ای تشکیل شده، با استفاده از رایانه معمولی امکان پذیر نبود، بنابراین با استفاده از یک رایانه با دو پردازنده *Opteron 250* انجام شد. زمان مدلسازی برای هر بار به طور تقریبی یک شبانه روز به طول می انجامید. بنابراین تهیه مدل بهینه دو هفته بطول انجامید. بعد از مدلسازی سه بعدی نرم افزار *Res3DINV* با استفاده از نرم افزار *Rockwork2004* نمای سه بعدی آن نیز تهیه شد، تا بتوان محدوده دفن زباله ها، عمق سنگ کف و روند تغییرات لایه ها را هر چه بهتر توسط مدل سه بعدی نشان داد.



شکل ۳-۴۰: مدل سه بعدی داده های مقاومت ویژه محل دفن زباله های شهر اراک

باید به این نکته توجه داشت که به علت عدم توانایی نرم افزار برای بزرگتر نمودن شبکه بندی از یک سوی و عدم برداشت سه بعدی داده ها از سوی دیگر سبب شده تا نتیجه مطلوبی از مدلسازی سه بعدی حاصل نشود، اما این مدل تا حدودی با شبه مقطع سه بعدی همخوانی دارد.

فصل چهارم

مدل سازی حرکت آلودگی

۱-۴ مقدمه

پس از آنکه اطلاعات مربوط به سنگ کف، ضخامت آبرفت توسط مدلسازیهای ژئوالکتریکی استخراج گردید، از این اطلاعات برای تکمیل اطلاعات لازم در مدلسازی حرکت آلودگی استفاده شد، تا بدینوسیله حرکت تقریبی آلودگی و گسترش زون آلوده را در سالهای آینده پیش بینی نماید.

۲-۴ شبیه سازی کمی منطقه

برای توصیف حرکت آلودگی در منطقه ابتدا شبیه سازی جریان آب زیر زمینی در منطقه ضروری است، تا بتوان با استفاده از آن مدل آلودگی اجرا گردد. برای این منظور از نرم افزار *GMS*، جهت مدلسازی سه بعدی استفاده شده است.

۳-۴ طراحی مدل

جهت مدلسازی آب زیرزمینی در منطقه مراحل زیر را باید انجام داد:

۱-۳-۴ محدوده انتخابی از لحاظ مختصات *UTM*

در ابتدا محدوده مورد نظر از لحاظ مختصات *UTM* مشخص شد و به نرم افزار معرفی شد که بین طولهای ۳۸۸۸۳۵ و ۳۹۹۸۷۵ و عرضهای ۳۷۸۰۶۴۶ و ۳۷۶۴۲۳۷ قرار دارد که مساحت آن در حدود ۱۸۲۶۱۰۶۲۰ مترمربع می باشد. این منطقه از شمال به دریاچه میقان و از جنوب به ارتفاعات پایین دست محل دفن زباله محدود می شود. باید خاطر نشان کرد که این منطقه مستطیلی به طور کامل در مدلسازی مورد استفاده قرار نگرفته و قسمتهایی از آن به صورت سلولهای غیر فعال از مدلسازی حذف شده اند. همچنین از آنجا که اطلاعات دقیقی از لایه های زمین شناسی در کل منطقه موجود نمی باشد، بنابراین لایه های آبرفتی منطقه بصورت یک لایه در نظر گرفته شده است.

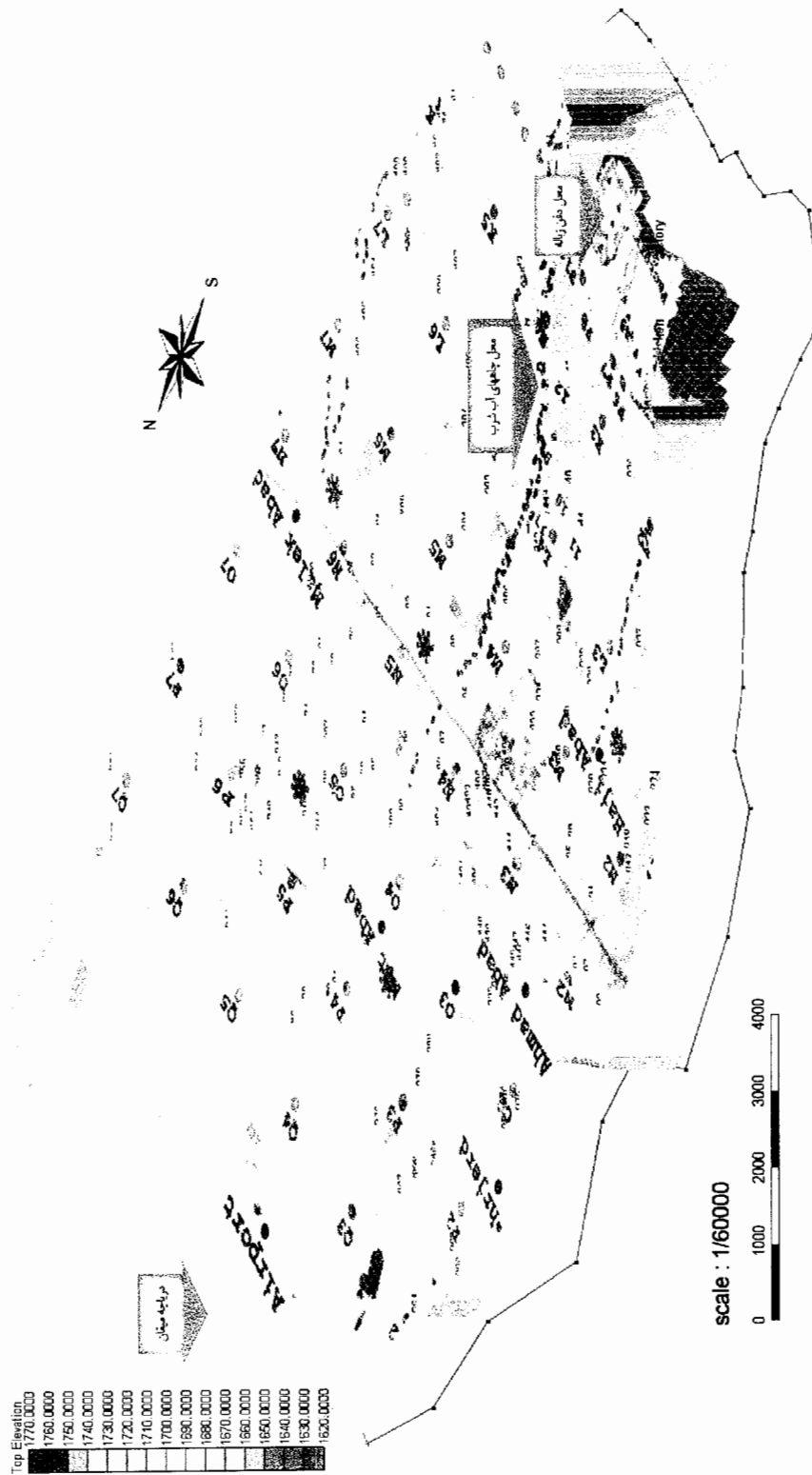
۴-۳-۲ شبکه بندی آبخوان

برای مدلسازی منطقه به روش عددی، باید منطقه را شبکه بندی کرد. به هر یک از اجزای این شبکه، سلول^{۳۹} می گویند. طول و عرض این سلولها تقریباً یکسان و در حدود ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد و عمق آن بر اساس اختلاف بین توپوگرافی و سنگ کف تعیین شد. در نتیجه منطقه مورد نظر به ۱۸۰ ردیف و ۱۰۰ ستون تقسیم شد. یکی از دلایل انتخاب سلولهایی با اندازه ۱۰۰ متر، نزدیک بودن چاهها به یکدیگر بود. اگر سلولها بزرگ تر انتخاب می شدند، ممکن بود بیش از یک عدد چاه در یک سلول قرار گیرد. شکل ۴-۲ مدل سه بعدی اجزا محدود جهت انجام مدلسازی انتقال آلودگی را در منطقه نشان می دهد.

۴-۳-۳ تعیین توپوگرافی و ارتفاع سنگ کف

ارتفاع سنگ کف در نقاط برداشت مقاومت ویژه در منطقه دهن زباله و دشت امان آباد تعیین گردید. همچنین توپوگرافی در هر یک از نقاط برداشت اندازه گیری شد. در چاههای کشاورزی و آب شرب نیز علاوه بر مختصات آنها، مقدار پمپاژ و توپوگرافی در این نقاط به دست آمد. (شکل ۴-۱)

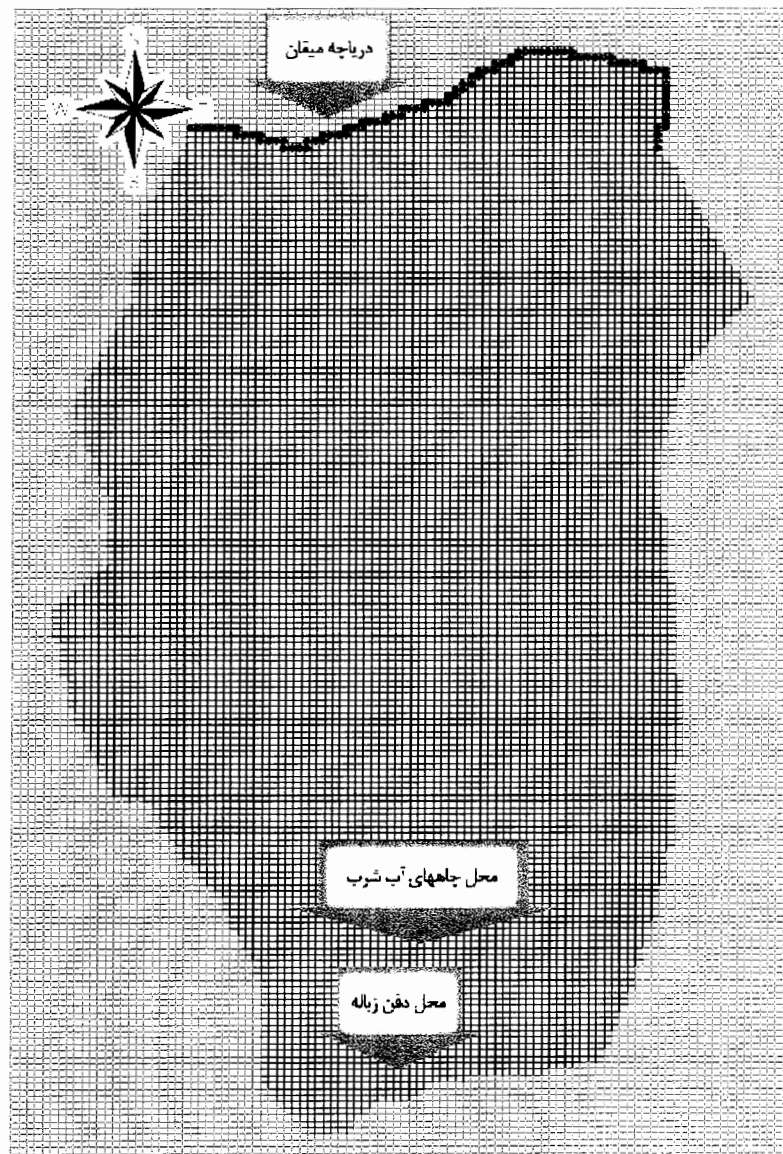
³⁹ Cell



شکل ۱-۴: نمایش توپوگرافی و محدوده مدلسازی، محدوده دفن زباله از ارتفاع بیشتری نسبت به منطقه

۴-۳-۴ شرایط مرزی

برای حل معادله مشتقات جزئی حرکت آب زیرزمینی نیاز به شرایط مرزی در منطقه داریم، بنابراین دریاچه میقان، با سطح آب ثابت و ارتفاعات پایین دست محل دفن زباله ها به عنوان مرزهای مدل سازی در نظر گرفته شد. همچنین بین محل دفن زباله ها و محل چاههای آب شرب بیرون زدگی سنگ کف به صورت سلولهای غیر فعال از مدل حذف شده اند (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: محدوده مدل سازی، سلولهای سیاه رنگ فعال هستند و سلولهای قرمز رنگ غیر فعال هستند.

۴-۳-۵ شرایط اولیه

برای مدل‌سازی نیاز به وارد نمودن اطلاعات اولیه داریم. بنابراین اطلاعات مربوط به چاهها در سال ۱۳۷۸ به عنوان مبنا در نظر گرفته شد.

۴-۳-۶ پارامترهای ورودی

با توجه به آزمایشات انجام شده در منطقه هدایت هیدرولیکی در منطقه به طور متوسط ۳۴ متر در روز تعیین شد [میرزایی ۱۳۸۲]. که این مقدار در نزدیکی دریاچه میقان کمتر و نزدیک چاههای آب شرب بیشتر در نظر گرفته شد که در زمان بهینه سازی این ضرایب اصلاح شد.

۴-۳-۷ ورودی و خروجی منطقه

در منطقه امان آباد حدود ۸۰۰ حلقه چاه وجود دارد که ۱۴ حلقه آن، چاههای آب شرب اراک هستند. اما از آنجائیکه منطقه مورد نظر کوچکتر از منطقه امان آباد می باشد و چاههایی که پمپاژ آنها در روز بسیار کم است و تاثیر چندانی در مدل‌سازی ندارند، از داده ها حذف شدند، تعداد این چاهها به ۱۷۴ حلقه رسید.

میزان تغذیه به طور کلی در حدود ۳۳۰ میلی متر در سال بر آورد شده است.

۴-۳-۸ اجرای مدل

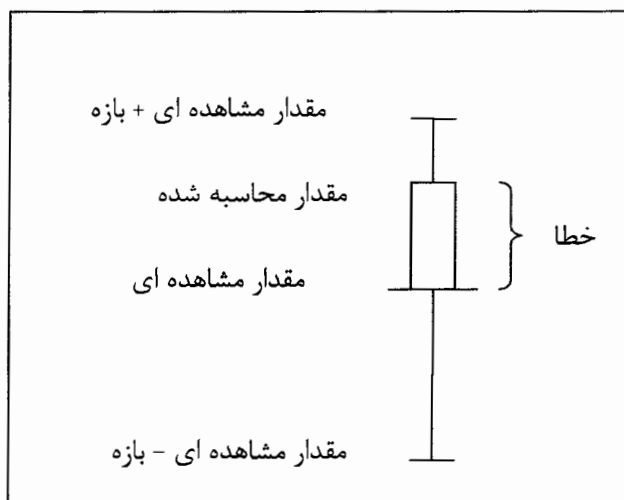
پس از آنکه تمام اطلاعات به نرم افزار *GMS* داده شدند. مدل منطقه با استفاده از کد *MODFLOW* اجرا شد و نتایج به دست آمده از مدل با داده های صحرایی مقایسه شد. اما نتایج و پیش بینی های مدل تطابق خوبی با واقعیت نداشت، بنابراین مدل اجرا شده باید بهینه سازی شود.

۴-۳-۹ بهینه سازی مدل

از آنجا که تعداد چاههای پیژومتر در منطقه محدود به ۳ عدد می باشد. بنابراین استفاده از روش معکوس سازی با کد *Pest* در نرم افزار *GMS* مقدور نبود. از این رو بهینه سازی به صورت دستی صورت گرفت.

همانطور که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است در صورتیکه چاههای پیژومتر در محدوده سبز رنگ

باشند، نشان دهنده تطابق خوب بین مدل و شرایط واقعی است و هر چه قدر که اندازه آن کوچکتر باشد خطا کمتر است. در صورتیکه مقدار محاسبه شده از بازه ای که در اطراف مقدار مشاهده ای تعریف شده است بیشتر باشد نرم افزار این مقدار را ابتدا با رنگ زرد برای اختلاف کم و سپس با رنگ قرمز برای اختلاف بالا نشان می دهد.



شکل ۳-۴ نحوه محاسبه خطا در چاههای پیژومتری

در شکل ۴-۴ منحنی های هم تراز سطح آب زیرزمینی در منطقه رسم شده اند که در نزدیکی چاههای آب شرب منحنی های بسته دیده می شود که ناشی از برداشت بی رویه از این چاهها می باشد.

۴-۴ مدل سازی کیفی حرکت آلودگی

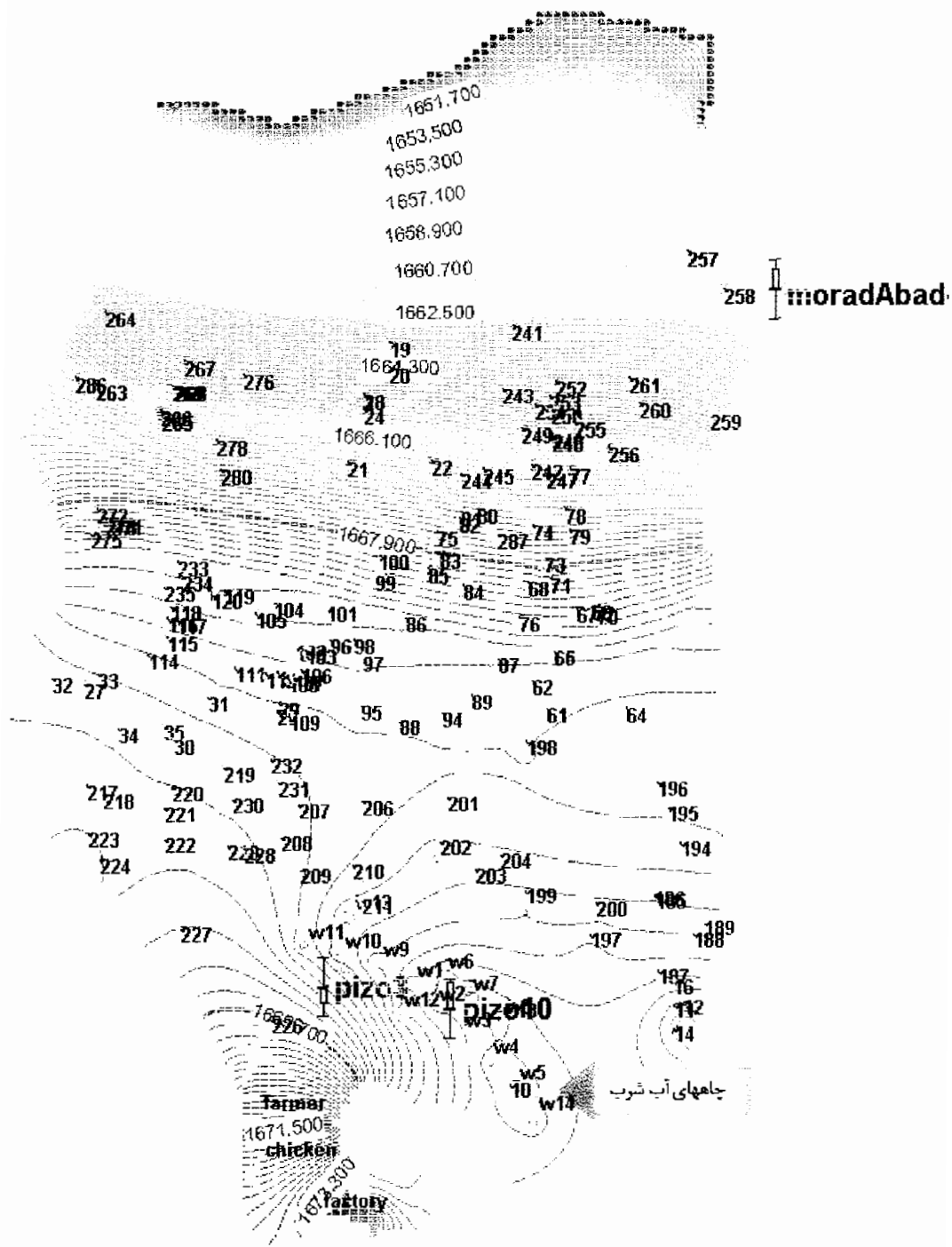
همانطور که گفته شد، محل دفن زباله های شهر اراک در پایین دست (در ارتفاع بالاتر) چاههای آب شرب قرار دارد. بنابراین پیش بینی حرکت هاله آلودگی و جهت آن در منطقه بسیار حائز اهمیت است. بنابراین مدل سازی حرکت آلودگی می تواند ما را در این امر یاری رساند تا تمهیدات لازم را برای پیشگیری از آلوده شدن آبهای شرب منطقه انجام دهیم. روش مدل حرکت آلودگی به این صورت است که پارامترهای آلودگی (غلظت، ضرایب پخش و...) به مدل داده می شود. و با استفاده از مدل *MT3DMS* مدل سه بعدی حرکت آلودگی تهیه شد و جهت و مقدار آلودگی در زمان حال و سالهای

آینده به دست آمد [چان میا او ۱۹۹۹].

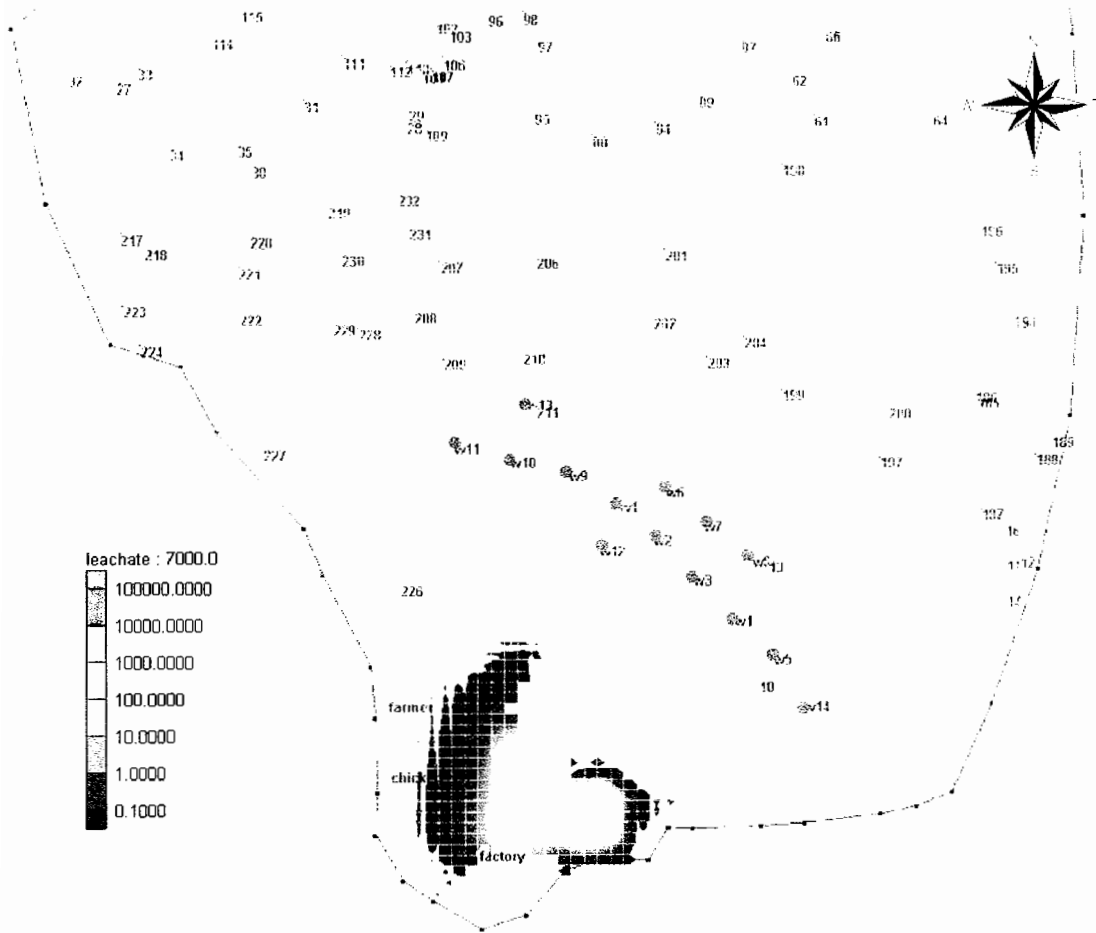
از آنجا که این آلودگی در چاه رنگرزی دیده شده است و از طرف شرق هیچ حرکت آلودگی دیده نشده، می توان گفت که پیش بینی مدل صحیح بوده است.

جدول ۴-۱: مقادیر پارامترهای ورودی مدل کیفی

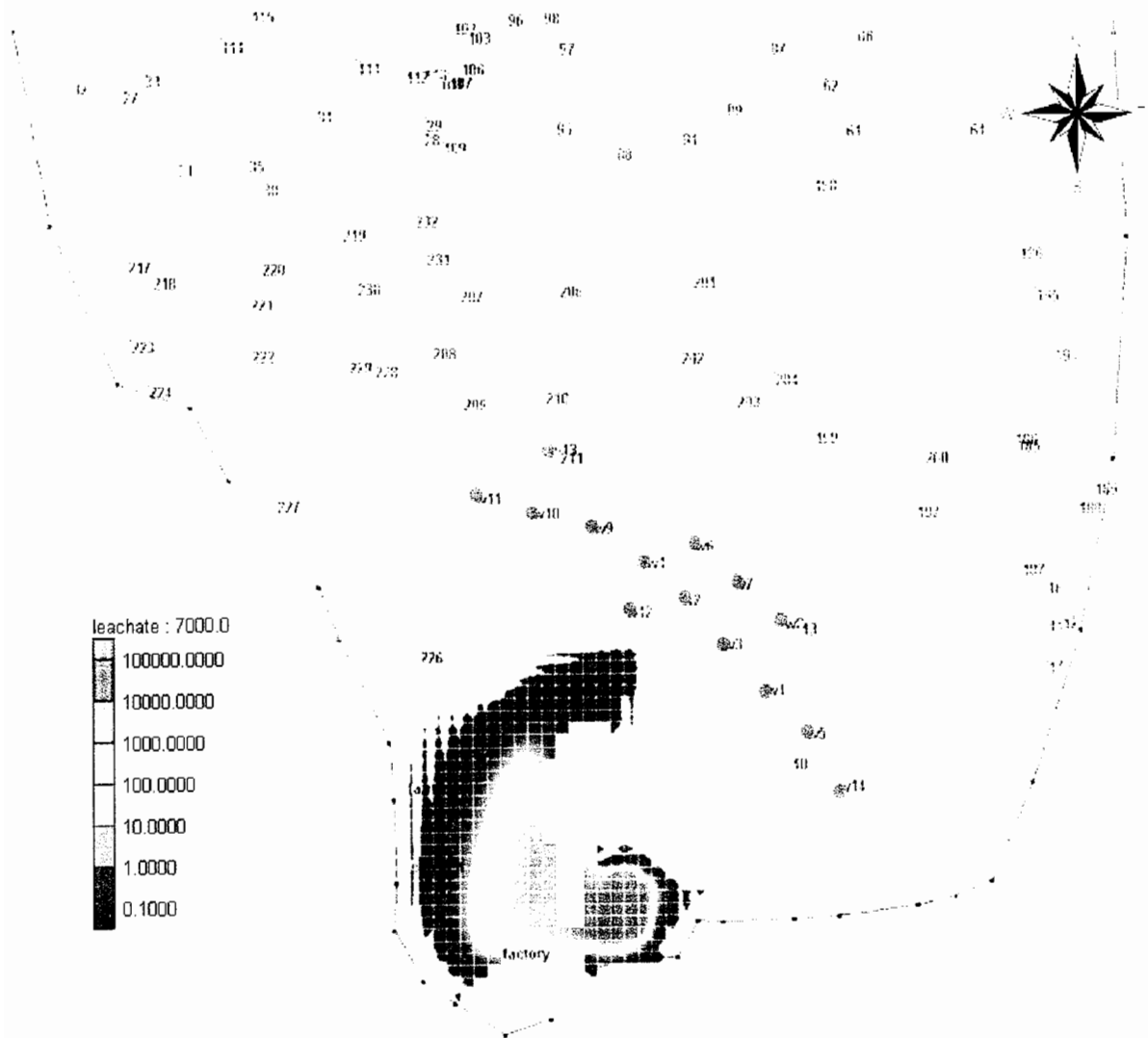
پارامتر	مقدار
ضریب پراکندگی طولی	۱۲ متر
ضریب پراکندگی عرضی	۴ متر
ضریب پراکندگی عمقی	۱/۲ متر
غلظت آلاینده ها در محل دفن زباله	۳۷۲۰۰ میلی گرم بر لیتر
جرم حجمی خاک	۲/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب



شکل ۴-۴: چاههای پیزومتری در منطقه مدلسازی و خطوط هم تراز آب زیرزمینی. در این شکل چاههای منطقه با شماره نشان داده شده اند و چاههای آب شرب با یک شماره در کنار *W* نشان داده شده است، چاه رنگری بنام *factory* مشخص شده است.

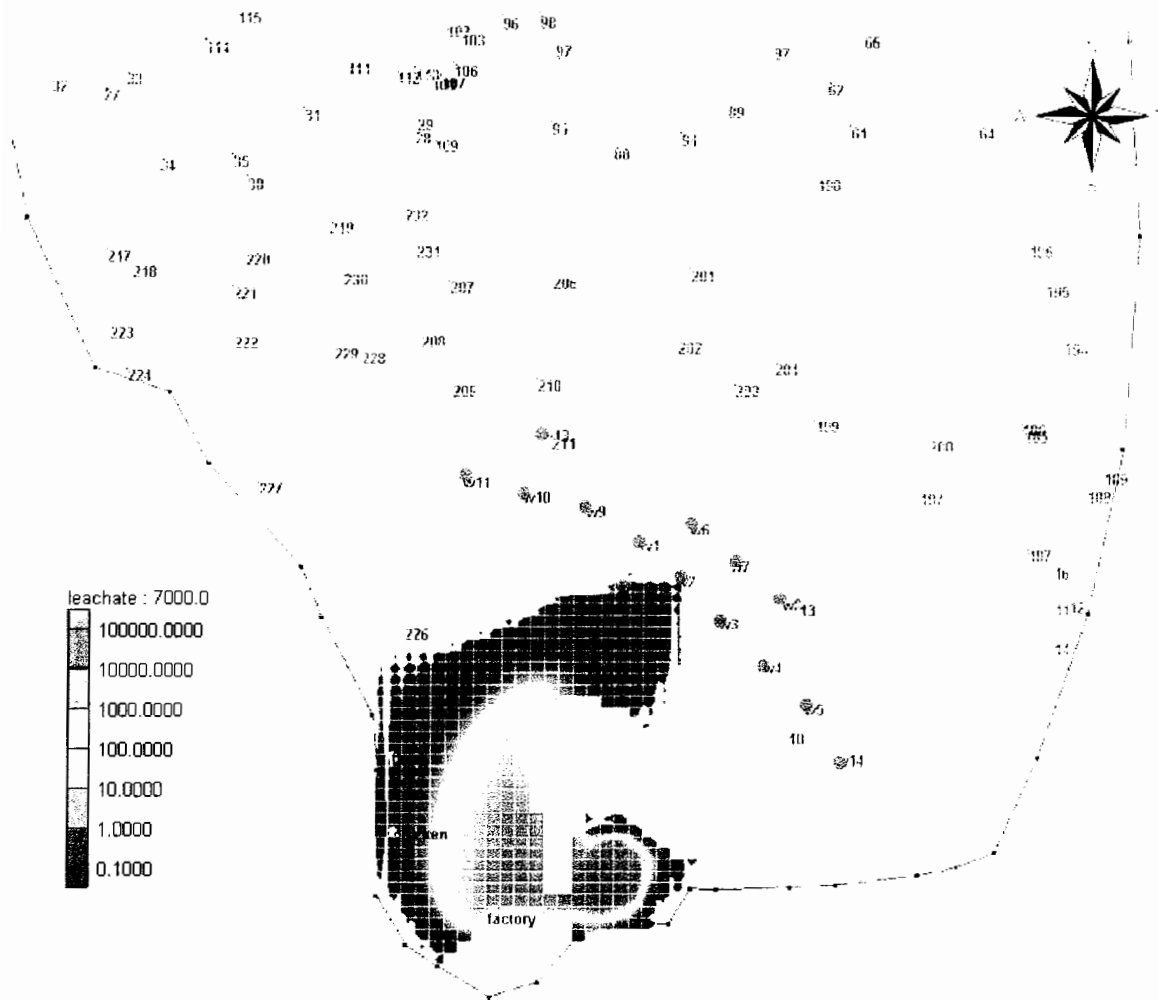


شکل ۴-۵: حرکت آلودگی پس از ۲۲ سال از ابتدای انباشت زباله



شکل ۴-۶: حرکت آلودگی پس از ۴۶ سال از ابتدای انباشت زباله

همانطور که در شکل ۴-۷ دیده می شود. این آلودگی می تواند به چاههای آب شرب منطقه برسد و سبب آلودگی این چاهها شود.



شکل ۴-۷: حرکت آلودگی پس از ۶۶ سال از ابتدای انباشت زباله

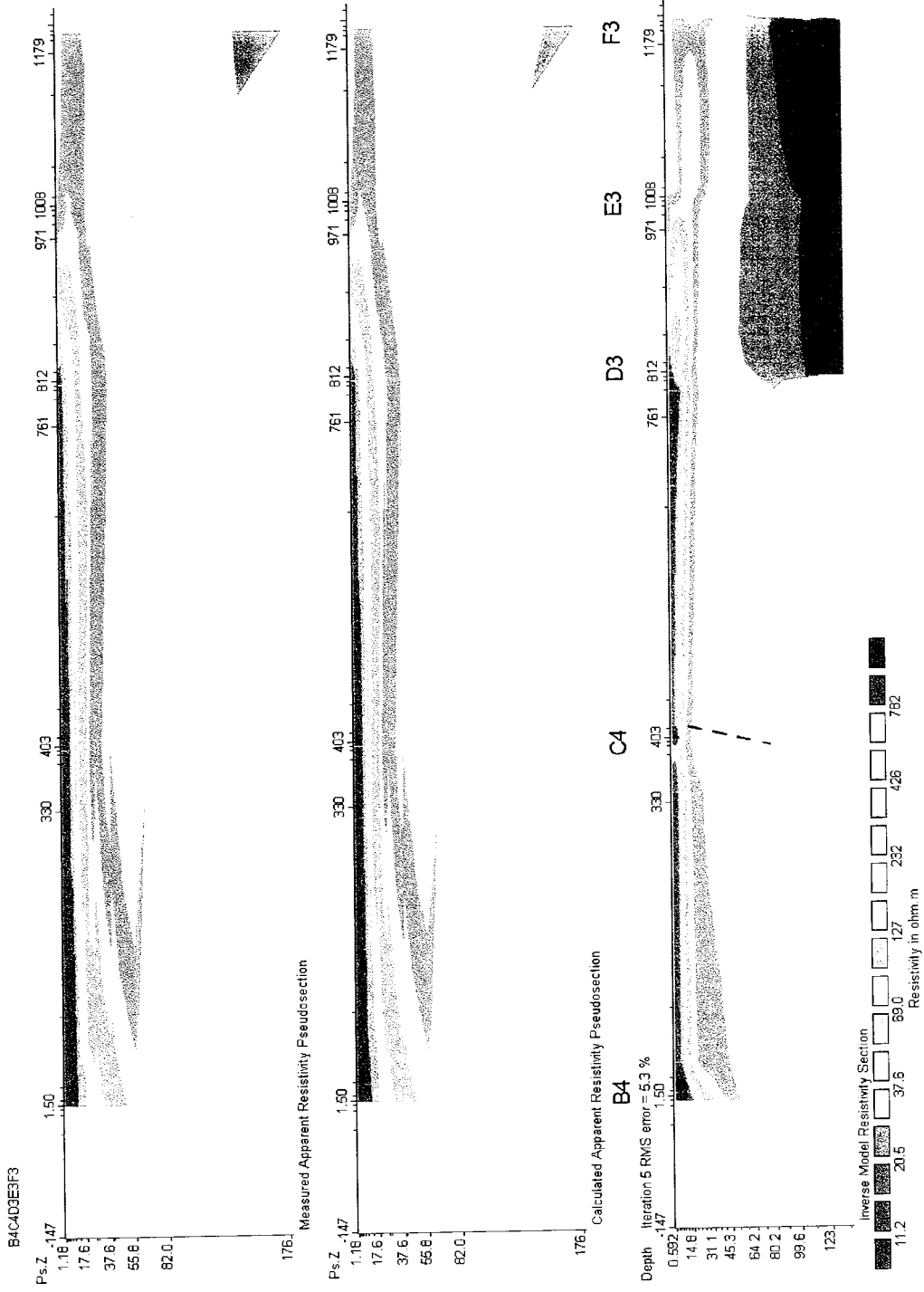
فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

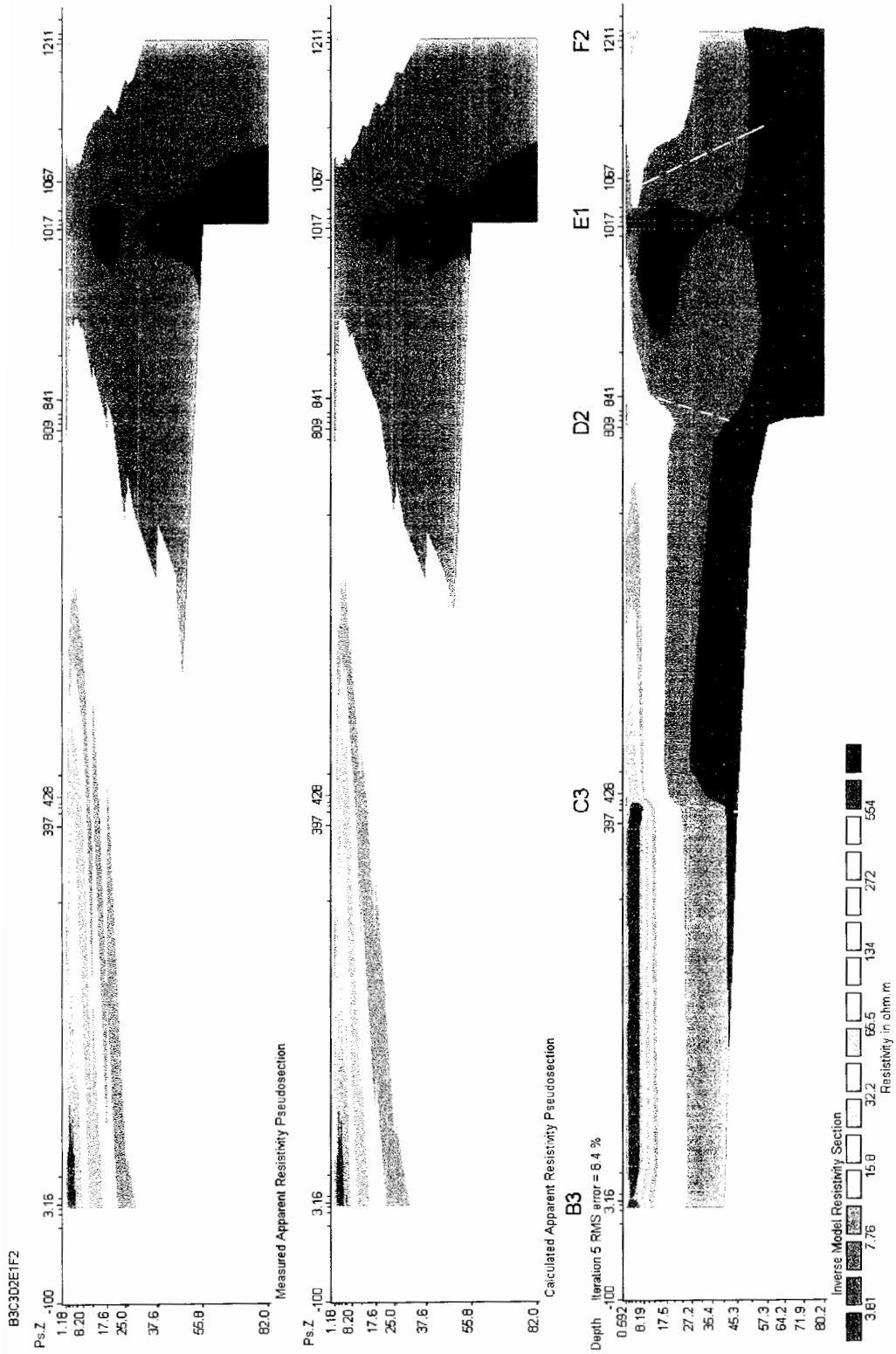
۱-۵ نتیجه گیری

از بررسی مدل‌های مقاومت ویژه و پیش بینی حرکت آلودگی در جهات متفاوت از محل دفن زباله شهر اراک نتایج ذیل حاصل گردید:

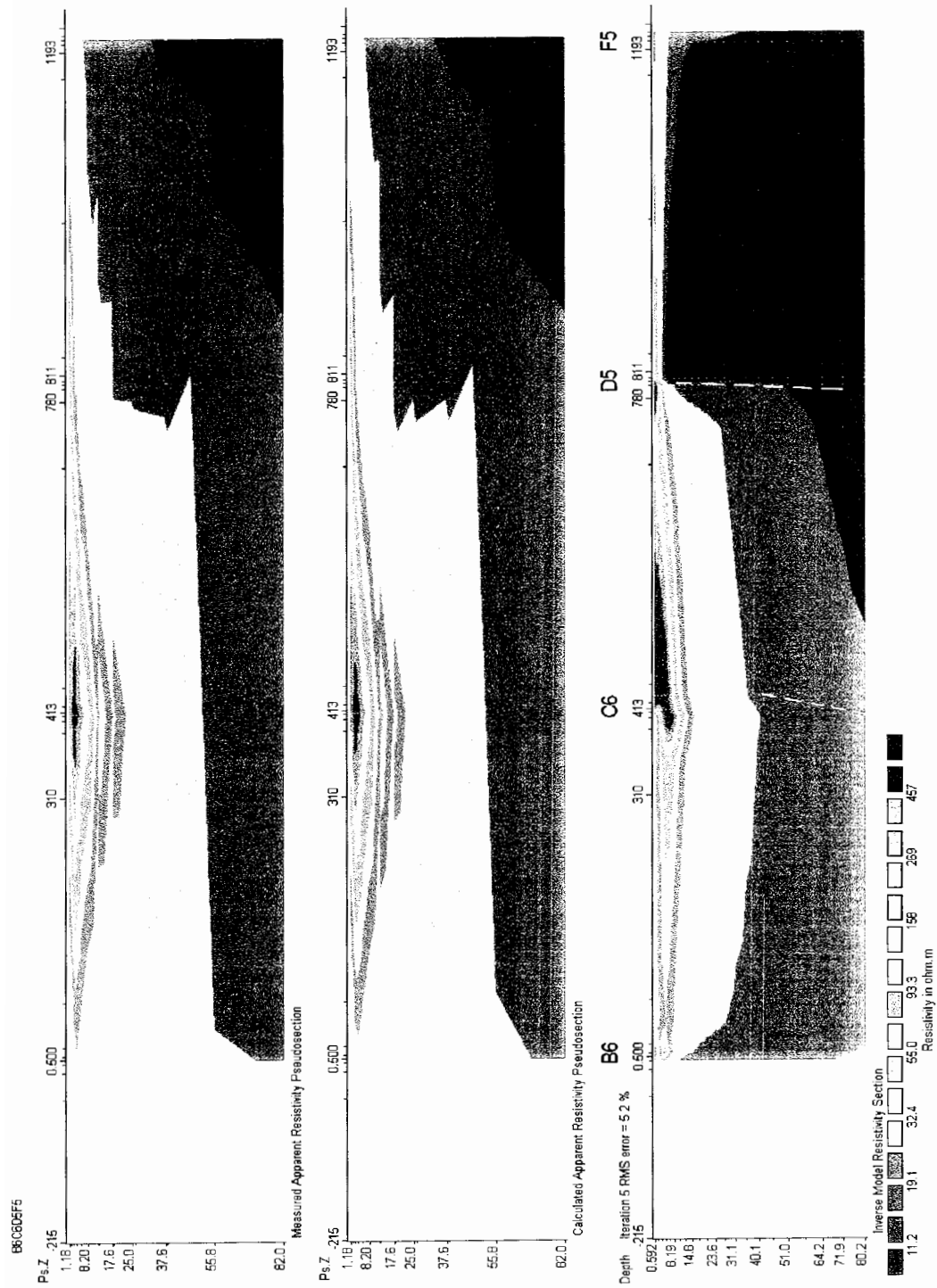
۱. عمق آبرفت در محل دفن زباله فعلی شهر اراک بطور متوسط ۲۰ متر می باشد.
۲. سنگ کف آبرفتهای منطقه که امروزه بر اساس خاکبرداری و گود کنی زباله های شهر اراک در آن دفن می شوند از نوع اسلیت آهکی می باشند.
۳. قاعده اسلیتهای آهکی را توده های نفوذی دیوریتی شامل شده که در جهات مختلف اسلیتهای آهکی را قطع نموده اند (شکل ۵-۲ و شکل ۵-۳).
۴. به سمت غرب (نزدیکی جاده آسفالتی اراک-خمین) ضخامت اسلیتهای آهکی زیاد شده و توده های نفوذی در اعماق زیاد (بیش از ۱۲۰ متری) قرار می گیرند. به سمت شرق (به سمت سد امان آباد) توده های نفوذی بالا آمده و در عمق ۲۰ متری سطح زمین قرار می گیرند.
۵. گسلهای متعدد سنگ کف اسلیت آهکی و توده نفوذی دیوریتی را قطع کرده اند اما بدلیل ریز بودن اسلیتهای آهکی مواد ریز دانه شکافهای درزه ها و گسلها را پر نموده اند
۶. بدلیل گسل خوردگی اسلیتهای آهکی و دیوریتها در محل سونداژ C4 افتادگی شدید در آبرفتها صورت گرفته که ضخامت آبرفت بطور ناگهانی از ۲۰ متر به ۱۰۰ متر می رسد (شکل ۵-۱).
۷. بدلیل گسل خوردگی در اسلیتهای آهکی غرب محل دفن زباله (محل چاه رنگرزی) ضخامت آبرفت بطور ناگهانی افزایش می یابد و از ۳۰ متر در محل سونداژ A10 به ۱۸۰ متر در محل سونداژ A1 می رسد.



شکل ۱-۵: پروفیل افتادگی B4C4D3E2F3، افتادگی شدید آبرفتها در C4



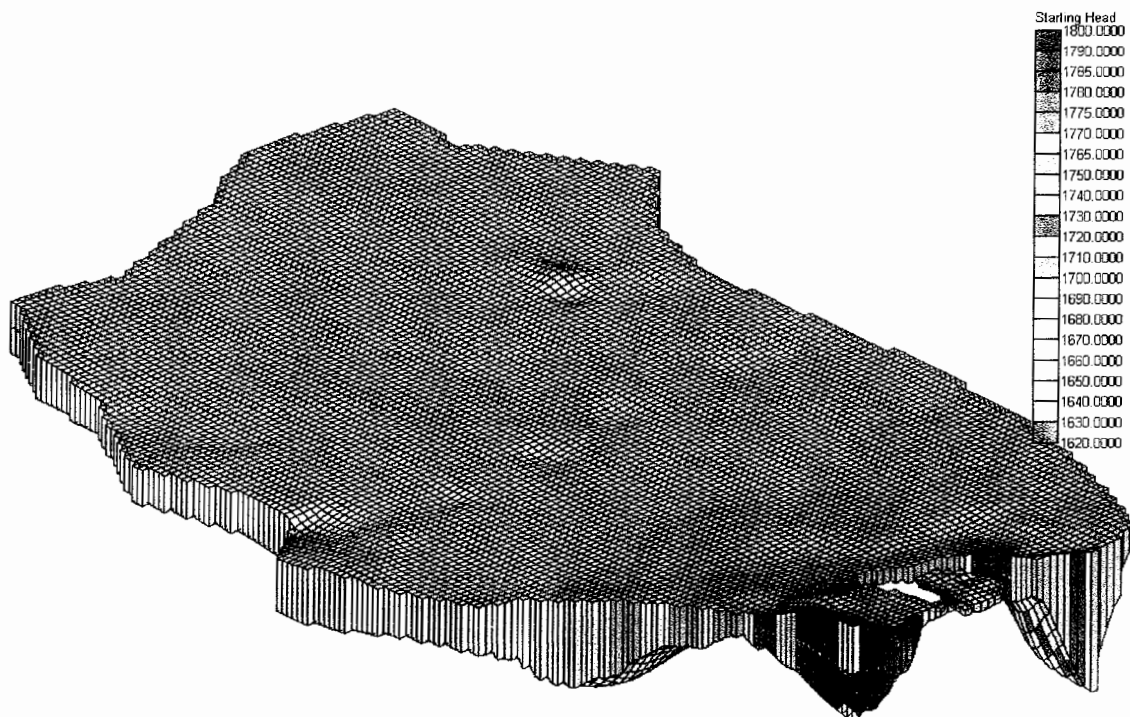
شکل ۵-۲: پروفیل افتادگی B3C3D2E1F2 آبرفتها در C3



شکل ۵-۳: پروفیل $B6C6D5F5$ ، افزایش عمق آبرفت از سونداژ $D5$

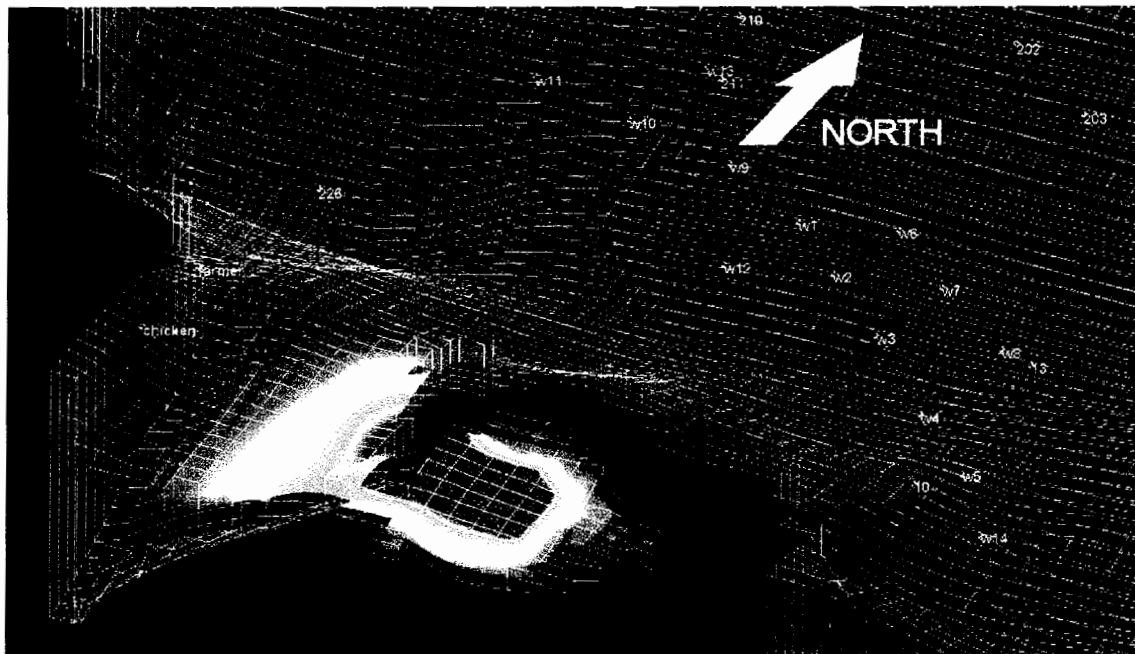
۸ این بررسی نشان می دهد اسلپتهای اهکی به عنوان سد طبیعی در محل دفن زباله های فعلی شهر اراک بوده که جهت آب زیرزمینی حوزه سوارآباد را به سمت پست برق انجیرک هدایت می کند و

مانع برخورد آب زیرزمینی به محل دفن زباله های فعلی می شود. به عبارتی محل دفن زباله های فعلی فاقد آب زیرزمینی است. و تنها آبهای سطحی فرو رو و بارش های جوی شیرابه های حاصل از محل دفن زباله ها را به اعماق بیشتر و یا حتی ممکن است به منابع آب زیر زمینی هدایت کند

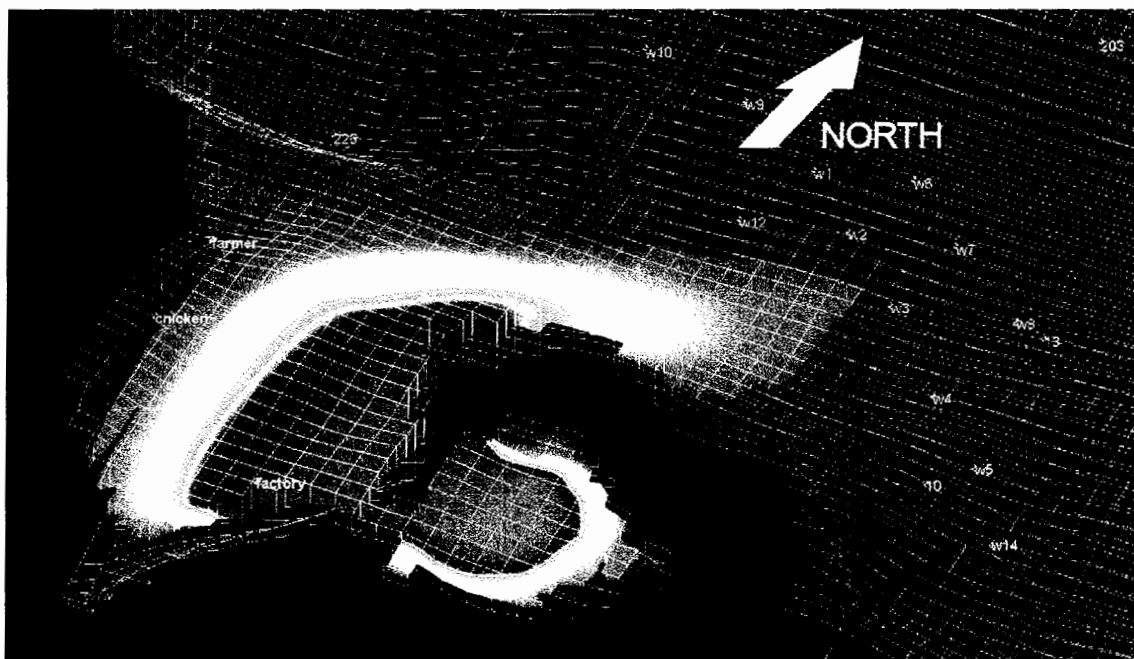


شکل ۴-۵: نمایش سطح آب زیرزمینی در منطقه به صورت سه بعدی

۱۰. مسیر حرکت آلودگی از سمت غربی محل دفن زباله ها صورت می گیرد.
۱۱. جهت حرکت آلودگی ابتدا به سمت غرب، سپس به سمت شمال یعنی محل چاههای آب شرب می باشد (شکل ۵-۵ و شکل ۶-۵).
۱۲. طبق پیش بینی آب چاههای شرب منطقه در حدود ۴۰ سال دیگر آلوده می شوند (شکل ۶-۵).



شکل ۵-۵: نمایش مسیر حرکت آلودگی از سمت غرب در ۲۰ سال آینده



شکل ۵-۶: پیش بینی حرکت آلودگی در ۴۰ سال آینده

۲-۵ پیشنهادات

چون این منطقه از دیدگاه زیست محیطی و تاثیر بر روی آب زیرزمینی بسیار منطقه حساسی است مطالعات بیشتر در منطقه چه از لحاظ ژئوفیزیکی و چه از لحاظ هیدرولوژیکی می تواند ما را در پیشگیری از آلودگی منابع آب های زیر زمینی یاری کند.

۱. از آنجا که داده های اندازه گیری شده در منطقه به صورت یک بعدی برداشت شده است، بنابراین مدلسازی سه بعدی این داده ها از دقت خوبی برخوردار نخواهد بود، بنابراین پیشنهاد می شود که در منطقه دفن زباله، برداشت سه بعدی داده ها انجام شود.

۲. معمولاً در مناطق دفن زباله برداشتهای مختلف صورت می گیرد، اما به علت نبود امکانات کافی جهت برداشت، در منطقه دفن زباله های شهر اراک این امر صورت نگرفت. بنابراین برداشت مجدد در همان نقاط اندازه گیری شده قبلی می تواند در شناسایی حرکت آلودگی ما را بیشتر یاری کند.

۳. برای شناسایی بهتر گسترش آلودگی در منطقه بهتر است از روشهای ژئوفیزیکی دیگر در منطقه استفاده گردد.

۴. برای مدل سازی دقیق تر حرکت آلودگی بهتر است ضرایب هیدرولیکی و هیدرو دینامیکی آبخوان در لایه های مختلف تعیین شود، همچنین آمار آبراهه های فصلی نیز در مدل اعمال شود.

منابع

- پوی، ه.س، ۱۳۷۶، مهندسی محیط زیست، جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، ص ۷۷-۱۱
- دولتی، ف، ۱۳۸۴، بیوتکنولوژی، ژئوشیمی زیست محیطی و مدیریت پسابها، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱۳۱-۱۱۹.
- شمسایی، ۱۳۸۳، هیدرولیک جریان آب در محیط های متخلخل (کاربرد مدل های ریاضی و کامپیوتری).
- کردوانی، پرویز، ۱۳۷۴، ژئوهیدرولوژی، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۸۴-۲۶۹
- کاپلیر د، مترجم: انصاری، ع، ۱۳۷۶، چاه پیمایی در هیدروژئولوژی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- مشهدی، ۱۳۸۳، پایان نامه کارشناسی ارشد: بهینه سازی سیستم رفع آلودگی (پمپاژ و تصفیه) در آب های زیرزمینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک.
- مرادزاده، ع، ۱۳۸۰، چاه پیمایی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه شاهرود، ص ۲-۱
- میرزایی، م، ۱۳۸۲، گزارش محل دفن زباله های شهر اراک، اداره کل امور آب استان مرکزی.
- یوسفی راد، م، ۱۳۸۰، گزارش زمین شناسی منطقه امان آباد، اداره کل امور آب استان مرکزی.

Benson, R. C., and R. A. Glaccum. 1979a. Radar Surveys for Geotechnical Site Assessment. In: Geophysical Methods in Geotechnical Engineering, Specialty Session,

American Society of Civil Engineers, Atlanta, Georgia. P. 161-178.

Benson, R. C., and R. A. Glaccum. 1979b. Remote Assessment of Pollutants in Soil and Groundwater. In: Proceedings of the Hazardous Material Risk Assessment, Disposal and Management Conference, Miami Beach, Florida. P. 188-194.

Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang, 1999, A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems, University of Alabama,

GMS5.0, help document

Lock, M.H., 2000, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies, P. 1-60.

Lock, M.H., 2002, res2dinv ver. 3.50, Geotomo software, p. 1-112

Mooney, H.M., 1980, Handbook of engineering geophysics, volume 2, First Edition, Bison instruments, inc. and Minneapolis, Minnesota, P. 1 – 31.

Milson, J, 2003, Field Geophysics, Third edition, Wiley, P. 83-115

Patra, H.p. and Nath, S. k., 1999, schulomburger geoelectric sounding in ground water (principle, interpretation, application), Reservde, P. 35-65.

Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff, and D. A. Keys. 1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press, New York.

www.googleEarth.com

www.interpax.com

www.rockware.com

www.ems-i.com

Zhdanov, M.S, 2002, Geophysical theory and regularization problems, First edition, Elsevier, P. 2-4

پیوست الف: موقعیت سونداژها و آمار مربوط به چاهها، قنوات و چشمه های

منطقه سوار آباد

در جدول الف - ۱) موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک آمده است. در جداول جدول الف - ۲، جدول الف - ۳، جدول الف - ۴

و جدول الف - ۵ نیز به ترتیب آمار چاهها، قنوات و چشمه های منطقه امان آباد آورده شده اند.

جدول الف - ۱: موقعیت و محل سونداژها

سونداژ	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
A1	391874	3766450	1783
A2	392046	3766397	1771
A3	392261	3766337	1761
A4	392456	3766263	1764
A5	392657	3766213	1765
A6	392855	3766153	1765
A7	393043	3766083	1762
A8	393235	3766022	1759
A9	393429	3765962	1757
A10	393604	3765889	1755
B1	393839	3766027	1758
B2	393835	3765871	1766
B3	393833	3765675	1767
B4	393847	3765469	1770
B5	393849	3765258	1765
B6	393840	3765068	1766
B7	393839	3764876	1761
C1	394276	3765939	1767
C2	394252	3765822	1759
C3	394251	3765662	1759
C4	394245	3765474	1759
C5	394250	3765271	1760
C6	394247	3765013	1753
C7	394241	3764879	1758
D1	394655	3765710	1765
D2	394652	3765648	1753
D3	394653	3765436	1757
D4	394624	3765258	1751
D5	394641	3765047	1756
E1	394855	3765612	1756
E2	394848	3765552	1741
E3	394850	3765448	1747
E4	394852	3765353	1748
E5	394843	3765252	1751
E6	394845	3765175	1747
F1	395047	3765840	1764
F2	395047	3765643	1748
F3	395046	3765431	1744
F4	395048	3765250	1744
F5	395048	3765056	1744
F6	395050	3764965	1753
G1	395592	3765611	1737
G2	395474	3765577	1751
G3	395361	3765540	1749
G4	395197	3765548	1749
H2	395252	3765424	1743

جدول الف- ۲: آمار چاههای منطقه سوار آباد بر اساس آماربرداری سال ۱۳۷۷ (میرزایی ۱۳۸۲)

ردیف	X	Y	محل	سال حفر	عمق چاه	سطح آب	آبدهی (متر بر روز)
۱	۳۹۲۶۸۳	۳۷۶۵۶۹۳	سوار آباد	۱۳۷۶	۷۲	۶۴	-
۲	۳۹۲۶۱۳	۳۷۶۵۶۹۳	سوار آباد	۱۳۷۳	۷۶	۶۸	۲/۰
۳	۳۹۰۳۰۹	۳۷۶۴۹۲	سوار آباد	۱۳۷۵	۸۵	۳۰	۱۳/۰
۴	۳۹۰۸۵۰	۳۷۶۲۱۲۰	سوار آباد	۱۳۷۷	۷۹	۴۴	-
۵	۳۹۱۱۶۹	۳۷۶۱۶۸۹	سوار آباد	۱۳۶۴	۲۱	۹	-
۶	۳۹۱۳۳۶	۳۷۶۲۱۴۰	سوار آباد	۱۳۷۶	۴۲	۲۲	-
۷	۳۹۱۴۷۰	۳۷۶۴۰۶۰	سوار آباد	۱۳۶۰	۷۰	۳۸	۱۰/۵
۸	۳۹۱۷۷۰	۳۷۶۴۰۵۵	سوار آباد	۱۳۶۹	۵۸	۳۲	۶/۶۰
۹	۳۹۲۲۱۷	۳۷۶۴۲۱۶	سوار آباد	۱۳۷۱	۳۳	۱۱	۲۷/۰
۱۰	۳۹۴۹۷۲	۳۷۵۵۹۱۶	جمالک	۱۳۵۷	۲۹	۱۷	۳/۰
۱۱	۳۹۵۲۸۰	۳۷۵۸۹۳۵	جمالک		۹	۴	۰/۵
۱۲	۳۹۵۸۶۶	۳۷۵۹۶۰۸	جمالک	۱۳۷۲	۸		
۱۳	۳۹۶۰۵۱	۳۷۵۷۰۴۵	جمالک	۱۳۷۱	۲۹	۲۷	۱/۰
۱۴	۳۹۶۵۶۶	۳۷۵۶۳۸۹	گیلی	۱۳۷۳	۷۰	۳۵	
۱۵	۳۹۶۵۸۸	۳۷۵۷۱۰۹	گیلی	۱۳۴۹	۱۲۵		۸/۰
۱۶	۳۹۶۶۹۱	۳۷۵۶۰۵۳	گیلی				
۱۷	۳۹۶۷۶۷	۳۷۵۵۷۶۲	گیلی	۱۳۷۶	۲۵		
۱۸	۳۹۶۹۹۶	۳۷۵۳۱۳۲	گیلی	۱۳۷۵	۱۸		
۱۹	۳۹۷۰۰۰	۳۷۵۳۲۳۰	گیلی	۱۳۷۵	۳۵	۲۰	
۲۰	۳۹۷۲۱۲	۳۷۵۱۶۷۲	گیلی	۱۳۵۶	۲۴	۲۰	۸/۰

جدول الف- ۳: آمار قنات منطقه سوار آباد بر اساس آماربرداری سال ۱۳۷۷ (میرزایی ۱۳۸۲)

ردیف	X	Y	محل	نام قنات	عمق مادر چاه (متر)	طول قنات (متر)	آبدهی (متر بر روز)
۱	۳۹۱۴۳۰	۳۷۶۲۲۵۰	سوار آباد	هموار	۳۰	۱۷۰۰	-
۲	۳۹۱۲۰۰	۳۷۵۸۵۵۰	سوار آباد	مودر	۱۰	۶۰۰	۱۸/۰
۳	۳۸۸۴۷۰	۳۷۵۵۱۳۲	نورعین	کهریز پایین	۴		۹
۴	۳۸۵۰۴۱	۳۷۵۴۲۹۶	ارکوبین	ارکوبین	۱۹	۱۸۰۰	۲۶
۵	۳۸۹۶۸۰	۳۷۵۳۹۵۳	نورعین	کهریز ده			۳
۶	۳۸۵۸۸۷	۳۸۴۴۰۹۷	اورنگل	چمن بالا	۶	۳۰۰	۱
۷	۳۸۲۶۹۵	۳۷۴۹۹۰۵	قاسم آباد	باش کهریز	۱۵	۲۵۰	۷
۸	۳۹۳۱۰۰	۳۷۵۶۵۵۰	جمالک	قزوه	۱۰	۶۰۰	۵
۹	۳۹۴۳۱۰	۳۷۵۵۷۳۰	جمالک	علی آباد	۷	۴۰۰	۲
۱۰	۳۹۳۳۵۰	۳۷۵۵۲۵۰	جمالک	چاه کوره	۶	۴۰۰	۴
۱۱	۳۹۴۱۰۱	۳۷۵۷۱۰۰	جمالک	شب کور	۸	۴۵۰	۲
۱۲	۳۹۴۱۰۰	۳۷۵۵۷۰۰	جمالک	ده	۶	۳۵۰	۲
۱۳	۳۹۵۴۴۱	۳۷۵۸۸۹۰	گیلی	محمد آباد	۲۰	۷۵۰	
۱۴	۳۹۸۴۸۶	۳۷۵۶۸۱۵	رودباران	ده	۳۶	۱۶۰۰	۲۶
۱۵	۳۹۶۹۸۴	۳۷۵۳۱۱۳	گیلی	پایین	۳۰	۱۶۰۰	۲۱
۱۶	۳۹۷۶۰۹	۳۷۵۰۱۳۰	گیلی	قنات بالا	۲۸	۱۶۵۰	۹۵

جدول الف ۴- آمار چشمه های منطقه سوار آباد بر اساس آماربرداری سال ۱۳۷۷ (آبدهی برحسب لیتر بر ثانیه)

ردیف	X	Y	محل	نام چشمه	نوع چشمه	آبدهی
۱	۳۹۰۱۵۰	۳۷۶۰۵۰۰	سوار آباد	چشمه	شکافی و درزی	۲/۵
۲	۳۹۲۷۵۰	۳۷۶۲۶۰۰	سوار آباد	چشمه قنات اشرف آباد	شکافی و درزی	۵/۰
۳	۳۹۲۷۵۰	۳۷۶۲۶۰۰	سوار آباد	چشمه قنات اشرف آباد	شکافی و درزی	۵/۰
۴	۳۹۳۶۱۰	۳۷۶۴۱۰۰	سوار آباد	شاطر	شکافی و درزی	۰/۵
۵	۳۹۱۱۰۰	۳۷۵۷۴۱۰	سوار آباد	دیبی مودر	شکافی و درزی	۲/۵
۶	۳۸۹۴۰۰	۳۷۵۷۷۰۰	سوار آباد	مهدی بلاغی	شکافی و درزی	۱/۵
۷	۳۸۹۳۳۵	۳۷۵۳۶۶۰	نورعین	نورعین	کارستیک	۰/۵
۸	۳۹۱۲۲۰	۳۷۵۷۱۵۰	جمالک	سلطان سیر	شکافی و درزی	۳/۱
۹	۳۹۱۵۰۰	۳۷۵۵۱۷۲	جمالک	دره وزم	شکافی و درزی	۱
۱۰	۳۹۱۵۰۰	۳۷۵۵۸۷۳	جمالک	قزوه سرا	شکافی و درزی	۱
۱۱	۳۹۱۵۲۰	۳۷۵۵۳۳۰	جمالک	اوشونزار	شکافی و درزی	۱
۱۲	۳۹۱۶۲۵	۳۷۵۶۲۵۰	جمالک	مهتادی	شکافی و درزی	۱
۱۳	۳۹۲۰۵۰	۳۷۵۵۱۵۰	جمالک	واحد	شکافی و درزی	۱/۲
۱۴	۳۹۲۶۰۰	۳۷۵۶۱۵۰	جمالک	جعفر	شکافی و درزی	۱/۵
۱۵	۳۹۳۱۵۰	۳۷۵۸۵۵۰	جمالک	دره غور	شکافی و درزی	۰/۷
۱۶	۳۹۸۴۷۷	۳۷۵۶۸۱۷	رودباران	دوقوز چای	شکافی و درزی	۰/۵
۱۷	۳۹۵۰۷۰	۳۷۵۱۷۵۰	گیلی	محمد	شکافی و درزی	۰/۷
۱۸	۳۹۵۲۵۰	۳۷۵۲۳۰۰	گیلی	عزت	شکافی و درزی	۱/۰
۱۹	۳۹۲۸۰۰	۳۷۵۳۶۵۰	گیلی	دره زرده	شکافی و درزی	۰/۷
۲۰	۳۹۳۶۵۰	۳۷۵۲۲۰۰	گیلی	دره بیشه	گسلی	۲/۰
۲۱	۳۹۴۰۰۰	۳۷۵۲۵۵۰	گیلی	اغل دره	شکافی و درزی	۱/۰
۲۲	۳۹۴۲۵۰	۳۷۵۲۰۰۰	گیلی	محمد جعفر	شکافی و درزی	۰/۷
۲۳	۳۹۴۸۰۰	۳۷۵۲۷۱۰	گیلی	میرزایی	شکافی و درزی	۰/۷

جدول الف ۵- آمار چشمه های منطقه امان آباد بر اساس آماربرداری سال ۱۳۸۰

آبدهی (متربر)	ارتفاع (متر)	y	x	نام چاه	آبدهی (متربر)	ارتفاع (متر)	y	x	نام چاه
-55	1668.3	3772270	391250	115	-600	1780	3765809	392508	مرغداری
-55	1668	3772511	391254	116	-1296	1760	3766407	392498	کشاوری
-58	1668	3772488	391374	117	-3896	1689.909	3766389	395985	w14
-79	1668	3772650	391297	118	-3896	1684.558	3766791	395729	w5
-1312	1669	3772858	391974	119	-3896	1681.048	3767121	395399	w4
-162	1668.6	3772805	391823	120	-11	1694.667	3767469	395052	w3
-274	1682.5	3768955	397441	185	-3896	1687.971	3767624	395546	w8
-274	1682.5	3769001	397430	186	-3896	1692.393	3767807	394713	w2
-282	1687	3768013	397484	187	-3896	1688.028	3767926	395143	w7
-132	1685	3768481	397937	188	-3896	1687.609	3768219	394823	w6
-123	1684.6	3768621	398072	189	-3896	1686.489	3767725	394264	w12
-312	1680	3769640	397758	194	-3896	1688.979	3768100	394429	w1
-252	1678.8	3770092	397604	195	-3896	1687.655	3768366	394008	w9
-236	1677.5	3770415	397470	196	-3896	1689.199	3768475	393514	w10
-2611	1683	3768465	396627	197	-3896	1689.812	3768594	393047	w11
-545	1676	3770941	395807	198	-3896	1685.894	3768960	393651	w13

ادامه جدول الف-۵

10	395615	3766562	1698.292	-808	199	395807	3769028	1679.5	-1049
11	397695	3767574	1690	-3800	200	396700	3768873	1682	-452
12	397808.74	3767601.98	1690	-3477	201	394820	3770220	1676.5	-586
13	395695	3767574	1688	-532	202	394728	3769650	1677	-2408
14	397691	3767271	1693	-625	203	395175	3769307	1678.4	-425
16	397680	3767871	1689	-682	204	395485	3769480	1678.6	-529
18	393731	3775340	1666	-400	206	393743	3770168	1676	-841
19	394060	3776010	1665	-121	207	392937	3770125	1675	-447
20	394056	3775689	1666	-63	208	392711	3769704	1679	-71
21	393536	3774480	1667.5	-132	209	392961	3769306	1683.5	-310
22	394595	3774493	1668	-244	210	393624	3769355	1682.5	-167
23	393738	3775337	1666	-115	211	393739	3768900	1686	-68
24	393731	3775158	1666	-192	217	390247	3770377	1675.5	-60
27	390211	3771663	1672	-96	218	390448	3770250	1674.5	-107
28	392657	3771317	1672	-175	219	391988	3770599	1671	-833
29	392670	3771420	1672	-71	220	391336	3770352	1672	-145
30	391345	3770950	1670.7	-1112	221	391239	3770085	1671.5	-523
31	391782	3771498	1670.7	-85	222	391247	3769690	1673.5	-370
32	389803	3771732	1672	-997	223	390271	3769771	1679.7	-1726
33	390384	3771789	1672.5	-68	224	390411	3769431	1681.5	-1537
34	390650	3771100	1670	-67	226	392603	3767389	1712	-1381
35	391230	3771130	1670.5	-167	227	391449	3768548	1696.5	-405
61	396074	3771351	1675.5	-266	228	392247	3769571	1678.5	-304
62	395883	3771701	1674.9	-164	229	392035	3769601	1676	-685
64	397074	3771351	1674.2	-203	230	392107	3770194	1672.5	-145
65	396168	3772070	1672.5	-132	231	392674	3770414	1673	-562
66	396170	3772071	1672.5	-115	232	392576	3770699	1671.7	-118
67	396444	3772625	1671.7	-178	233	391381	3773223	1667.5	-60
68	395824	3772951	1671.6	-156	234	391440	3773040	1667.7	-60
69	396635	3772668	1672.2	-178	235	391222	3772898	1668	-60
70	396710	3772602	1672.2	-208	241	395610	3776228	1666.5	-871
71	396108	3773003	1672.7	-392	242	395869	3774447	1668	-175
72	396662	3772631	1672.2	-318	243	395491	3775411	1665	-745
73	396040	3773260	1669.7	-419	244	394971	3774320	1668	-460
74	395876	3773663	1669	-518	245	395245	3774391	1668	-838
75	394664	3773601	1669	-167	246	396125	3774798	1667	-140
76	395709	3772514	1673.4	-274	247	396049	3774325	1668	-85
77	396346	3774391	1668	-214	248	396119	3774830	1667	-205
78	396285	3773874	1668	-268	249	395730	3774904	1667	-55
79	396347	3773611	1669	-197	250	396110	3775159	1666	-249
80	395171	3773882	1669	-137	251	396105	3775163	1666	-197
81	394973	3773842	1668.5	-60	252	396169	3775512	1665	-474
82	394944	3773771	1668.5	-107	253	396094	3775324	1665.5	-134
83	394706	3773319	1669.4	-55	254	395906	3775210	1665.6	-82
84	395000	3772923	1671.2	-197	255	396399	3774981	1667	-260
85	394558	3773132	1670.3	-126	256	396834	3774673	1667	-408
86	394276	3772503	1672.4	-222	257	397822	3777162	1665	-510
87	395459	3771986	1675.2	-79	258	398294	3776685	1665.5	-504
88	394211	3771187	1674.7	-134	259	398128	3775086	1668	-507

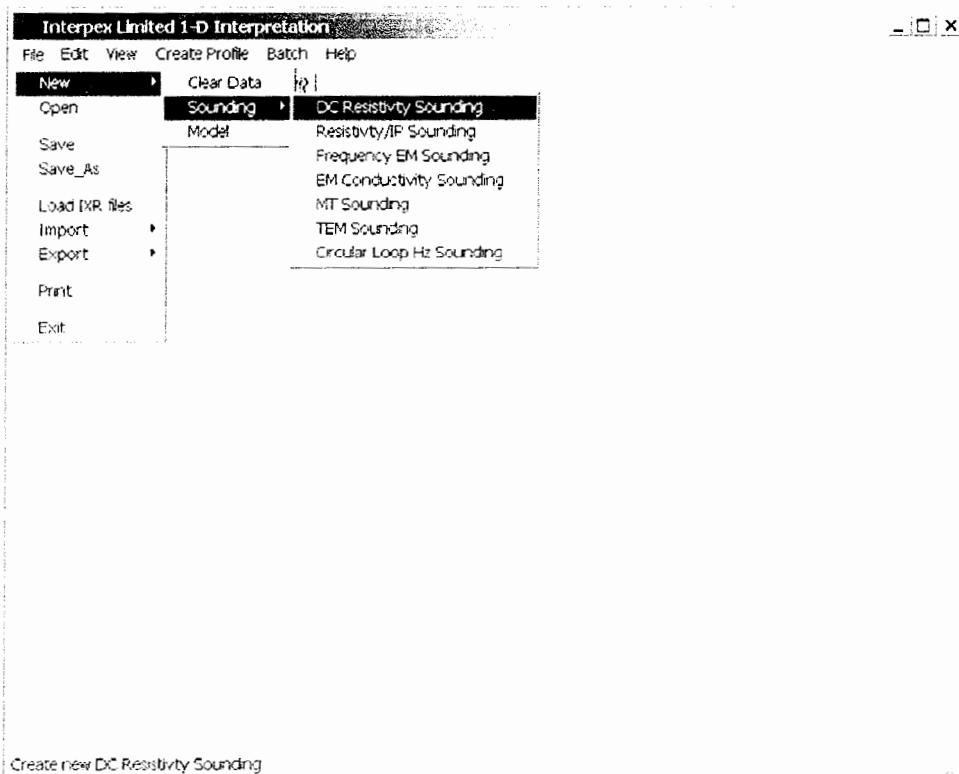
ادامه جدول الف-۵

89	395109	3771521	1676	-518	260	397233	3775226	1666	-638
94	394744	3771293	1675.8	-329	261	397089	3775541	1664.5	-455
95	393725	3771384	1673.7	-1277	263	390341	3775474	1660	-104
96	393333	3772227	1672.8	-85	264	390461	3776409	1662	-112
97	393747	3771997	1673	-414	265	391184	3775076	1661	-104
98	393624	3772232	1672.8	-153	266	391157	3775138	1661	-132
99	393897	3773035	1671	-241	267	391456	3775776	1661	-252
100	393933	3773298	1670.6	-356	268	391357	3775455	1662	-132
101	393280	3772645	1672	-123	269	391322	3775456	1662	-203
102	392890	3772158	1672.7	-142	271	390558	3773753	1667.6	-90
103	393011	3772092	1673	-123	272	390366	3773890	1668	-101
104	392608	3772703	1671.5	-60	273	390481	3773743	1667	-110
105	392371	3772568	1670.8	-863	274	390473	3773756	1667	-82
106	392953	3771852	1673	-145	275	390292	3773570	1668	-441
107	392854	3771752	1673	-88	276	392210	3775597	1664	-877
108	392779	3771744	1672.8	-101	278	391865	3774765	1665	-397
109	392800	3771250	1672.8	-164	280	391932	3774383	1666	-567
110	392652	3771815	1672.5	-501	286	390082	3775571	1662	-104
111	392109	3771870	1671	-468	287	395442	3773560	1669	-255
112	392500	3771800	1672	-260					

پیوست ب: روش کار ، نمونه فایل و مدل ساخته شده RESIX IP

در اینجا روش استفاده از نرم افزار *IXID* جهت مدلسازی داده های مقاومت ویژه شرح داده می شود. و مدل های ساخته شده توسط این نرم افزار در ادامه آمده است.

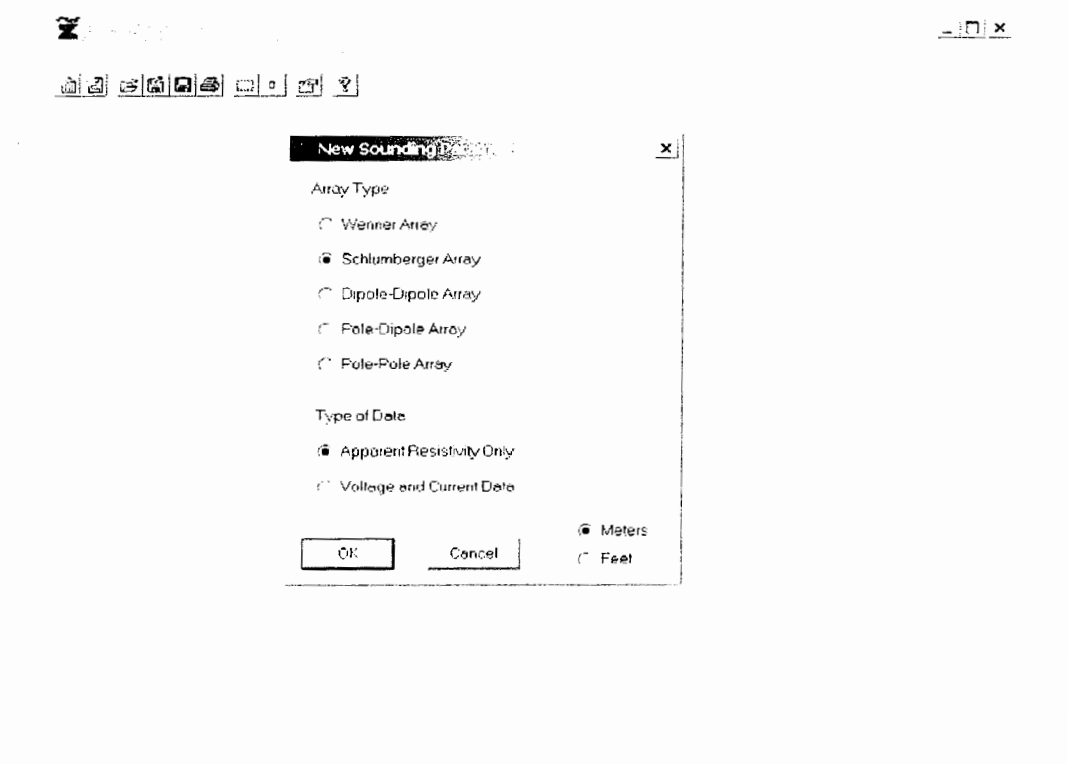
این نرم افزار به علت اینکه در سیستم عامل ویندوز قابل اجرا است، در عین کارایی بالای آن نرم افزار، کار با آن بسیار ساده می باشد. این نرم افزار علاوه بر مدلسازی یک بعدی داده های مقاومت ویژه، داده های مربوط به *IP* و *EM* را نیز مدلسازی می کند (شکل ب- ۱: صفحه اصلی برنامه *IXID* که داده های مقاومت ویژه، *IP* *Frequently EM sounding*، *EM Conductivity sounding*، *MT sounding*، *TEM sounding*، *sounding* را می تواند مدلسازی یک بعدی کند).



شکل ب- ۱: صفحه اصلی برنامه *IXID* که داده های مقاومت ویژه، *IP*، *Frequently EM sounding*، *EM Conductivity sounding*، *MT sounding*، *TEM sounding*، *sounding* را می تواند مدلسازی یک بعدی کند.

برای وارد کردن داده های مقاومت ویژه همانطور که در شکل شکل ب-۱: صفحه اصلی برنامه *IXID* که داده های مقاومت ویژه، *EM Conductivity Frequently EM sounding JP*، *TEM sounding MT sounding sounding* را می تواند مدلسازی یک بعدی کند. دیده می شود در قسمت *File → sounding*، *DC Resistivity sounding* را انتخاب می کنیم. پس از تعیین نوع آرایه، مقاومت ویژه ظاهری، فاصله بین الکترودهای پتانسیل *MN* و فاصله الکترودی *AB/2* را همراه با مشخصات دیگر وارد می کنیم (شکل ب-۲).

بعد از آن صفحه ای باز می شود که داده های مقاومت ویژه بر حسب فواصل الکترودی رسم شده اند. در اینجا می توان یک مدل اولیه برای مدلسازی به نرم افزار داد، تا بر اساس زمین شناسی منطقه بتوان نتیجه مطلوبی را به دست آورد.



شکل ب-۲: تعیین نوع آرایه ای که داده ها با آن برداشت شده است.

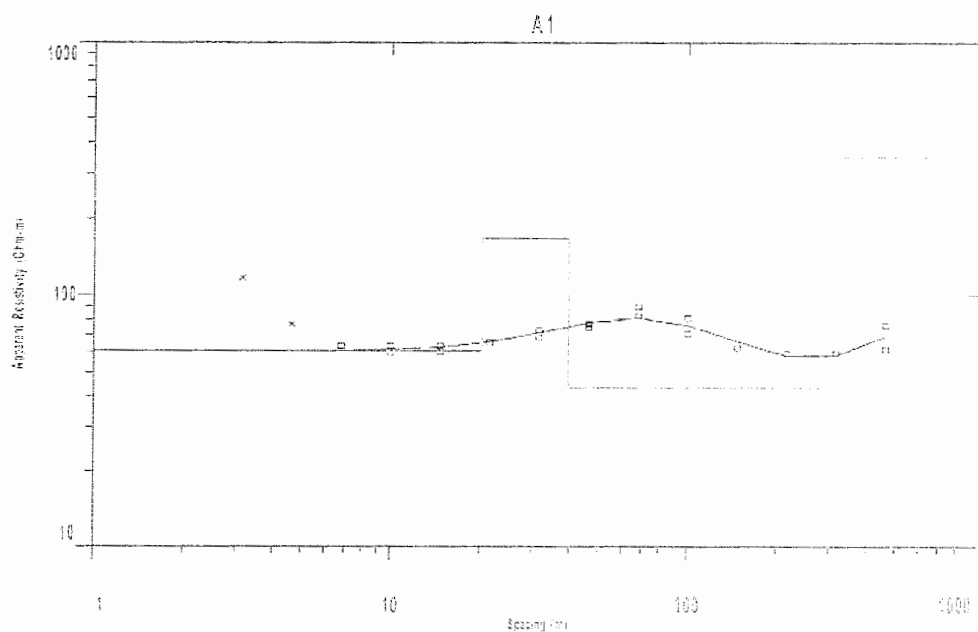
پس از آنکه مدل اولیه داده شد، می توان معکوس سازی را آغاز کرد، در این نرم افزار می توان تنها، یکبار یا با تعداد دفعات تکرار بالا جهت کاهش خطا معکوس سازی کرد. پس از معکوس سازی نیز می توان بطور همزمان بر روی مدل ضخامت لایه و مقاومت آن را تغییر داد، اما باید به مقدار

خطا توجه داشت تا زیاد افزایش پیدا نکند. پس از آنکه مدل دلخواه حاصل شد می توان آن را در نرم افزار ذخیره کرد.

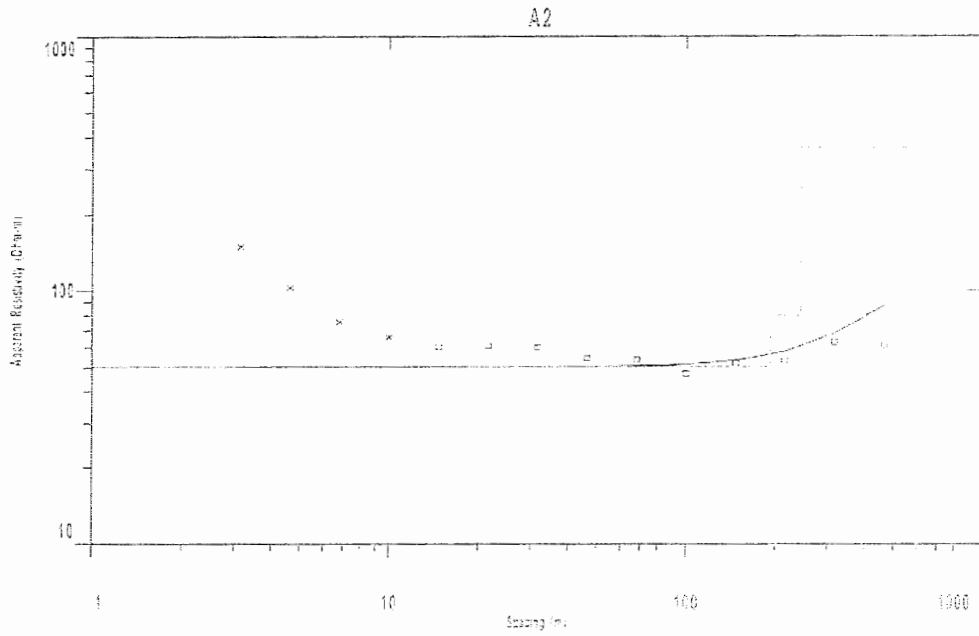
مدل های ساخته شده نرم افزار IXID

در زیر مدل های ساخته شده توسط این نرم افزار همراه با اطلاعات مربوط به لایه ها آورده شده است.

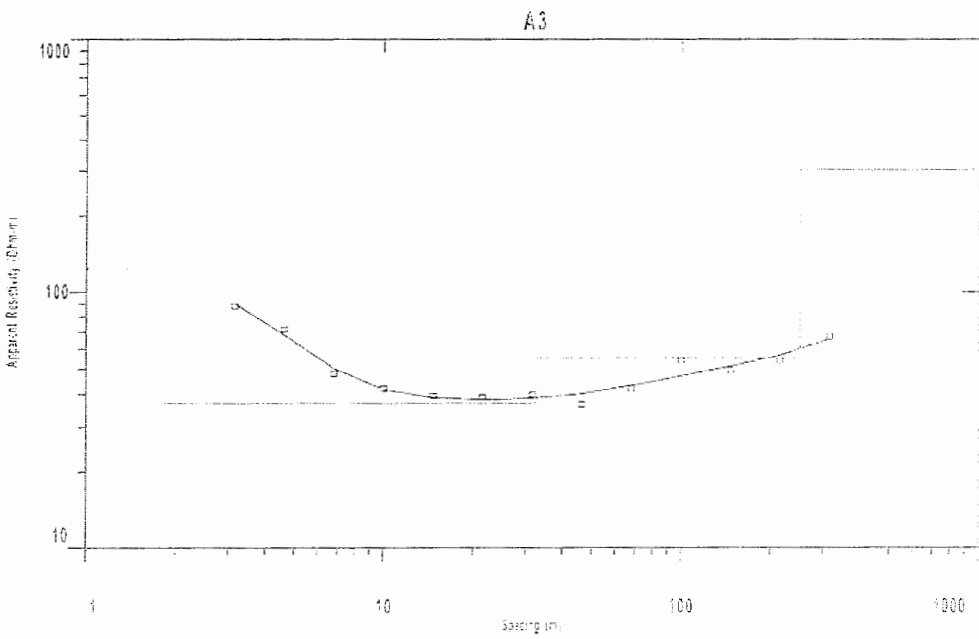
در تمام اشکال آورده شده در ذیل نقاطی که به صورت ضربدر نشان داده شده است، حذف شده اند. یعنی در مدلسازی داده ها به علت مغایرت با زمین شناسی منطقه از آنها استفاده نشده است، تا خطای حاصل از مدلسازی کاهش یابد.



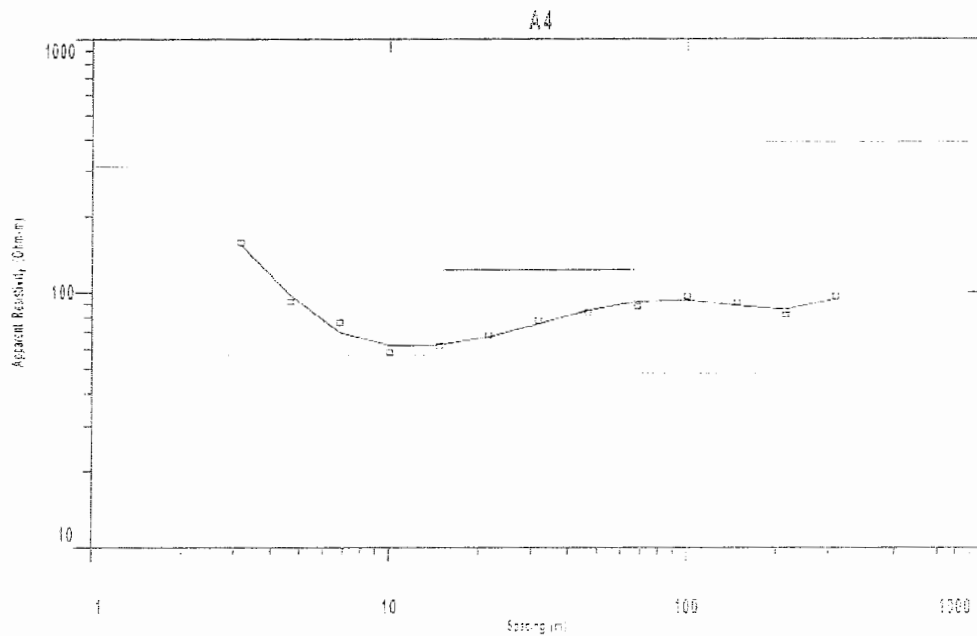
شکل ب- ۳: مدل یک بعدی سونداژ A1 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



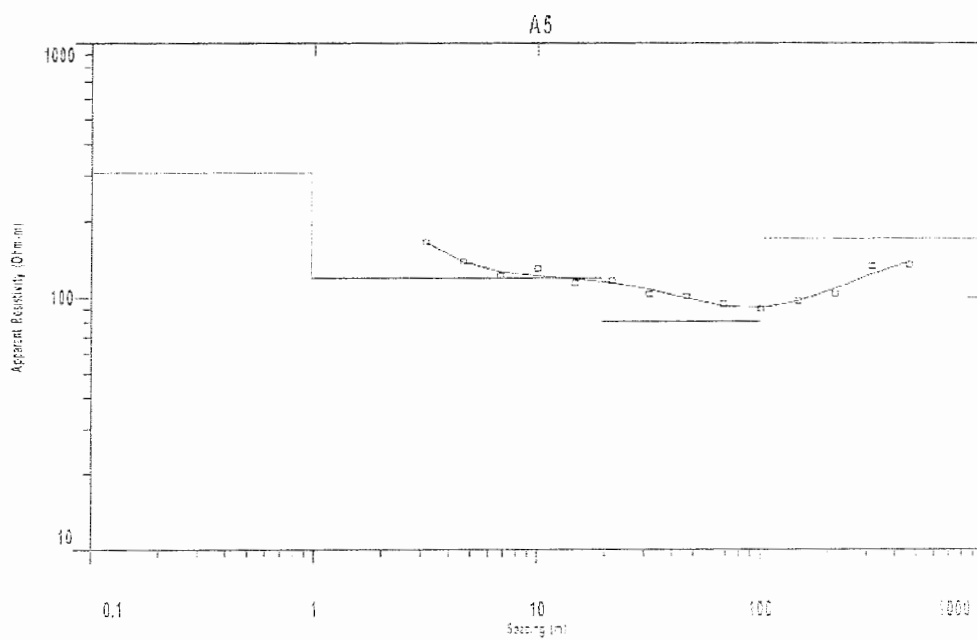
شکل ب- ۴: مدل یک بعدی سونداژ A2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



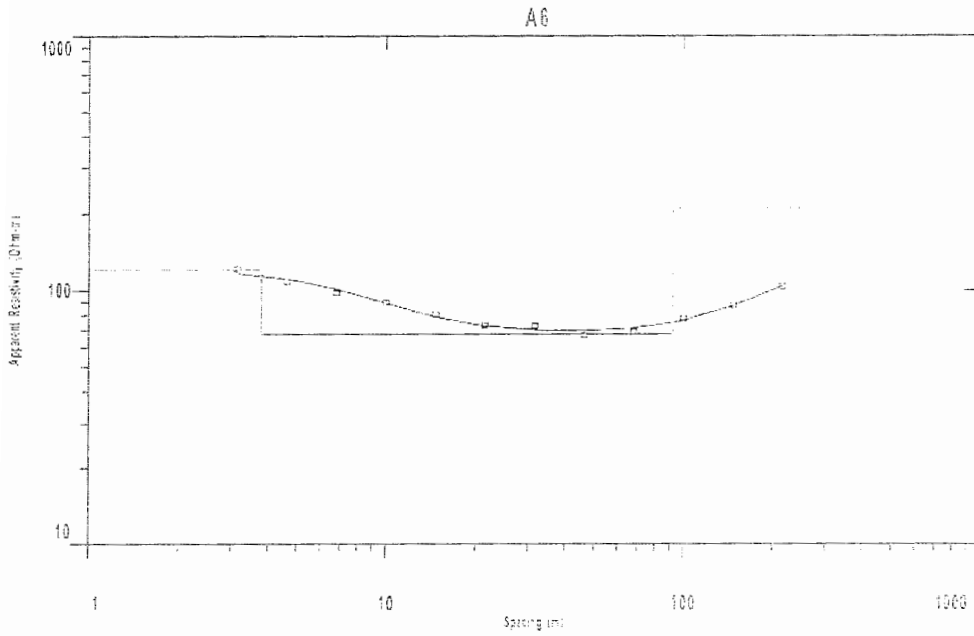
شکل ب- ۵: مدل یک بعدی سونداژ A3 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



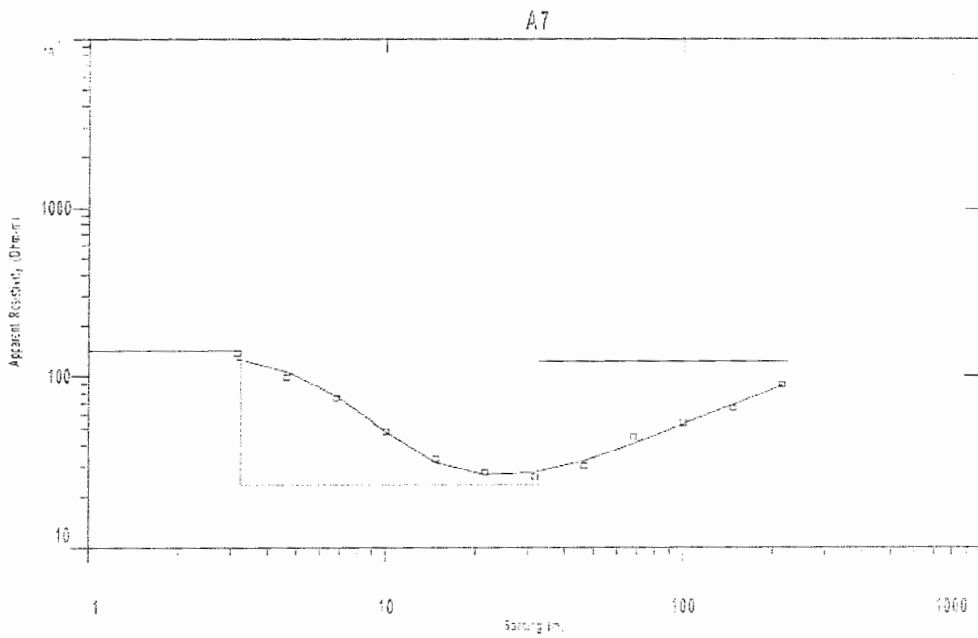
شکل ب- ۶: مدل یک بعدی سونداژ A4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



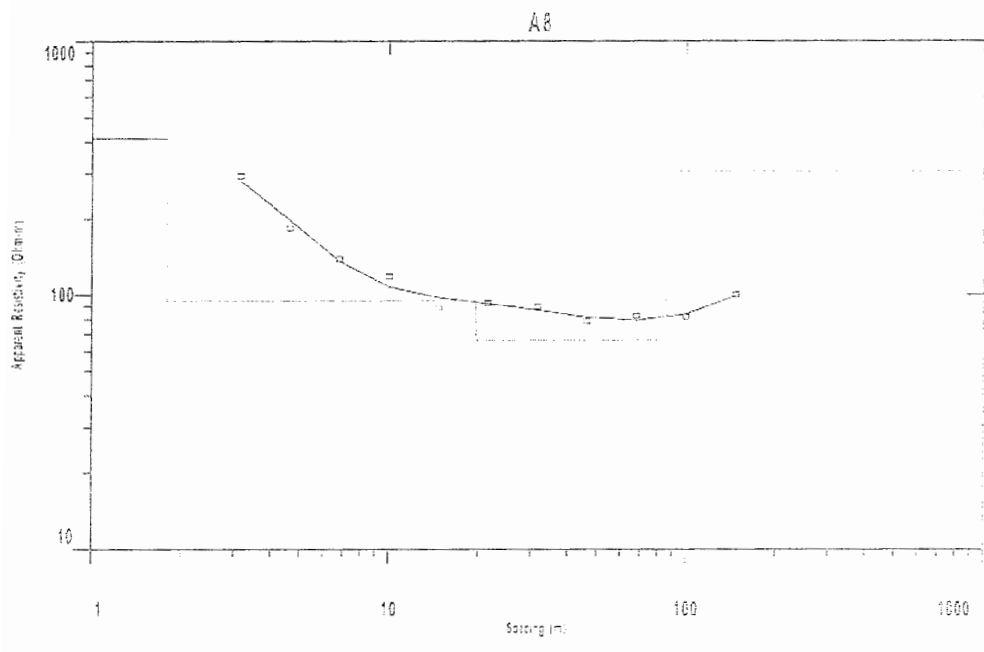
شکل ب- ۷: مدل یک بعدی سونداژ A5 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



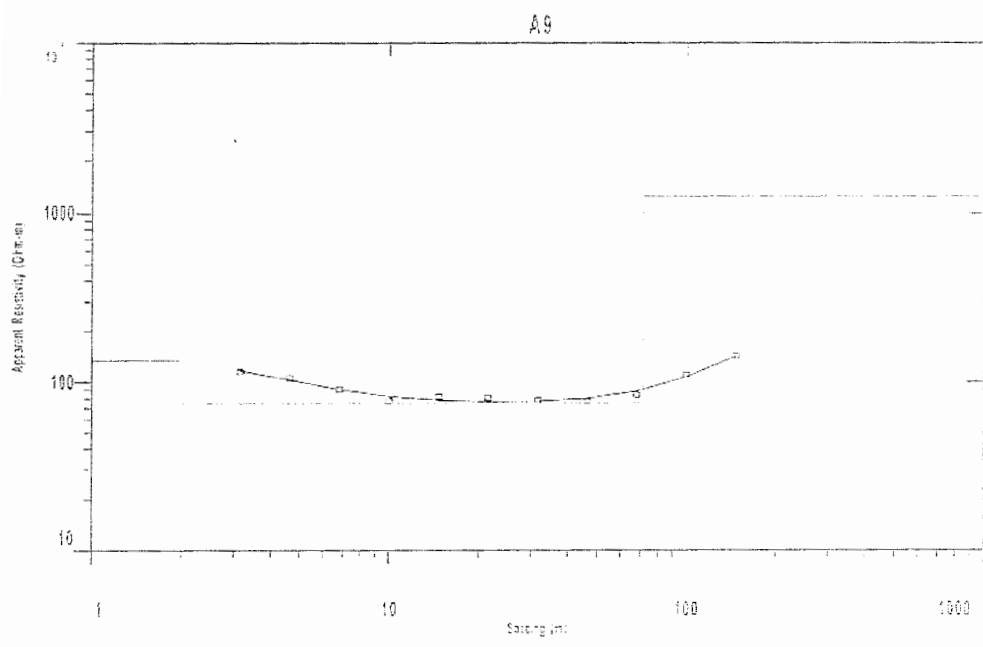
شکل ب- ۸: مدل یک بعدی سونداژ A6 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



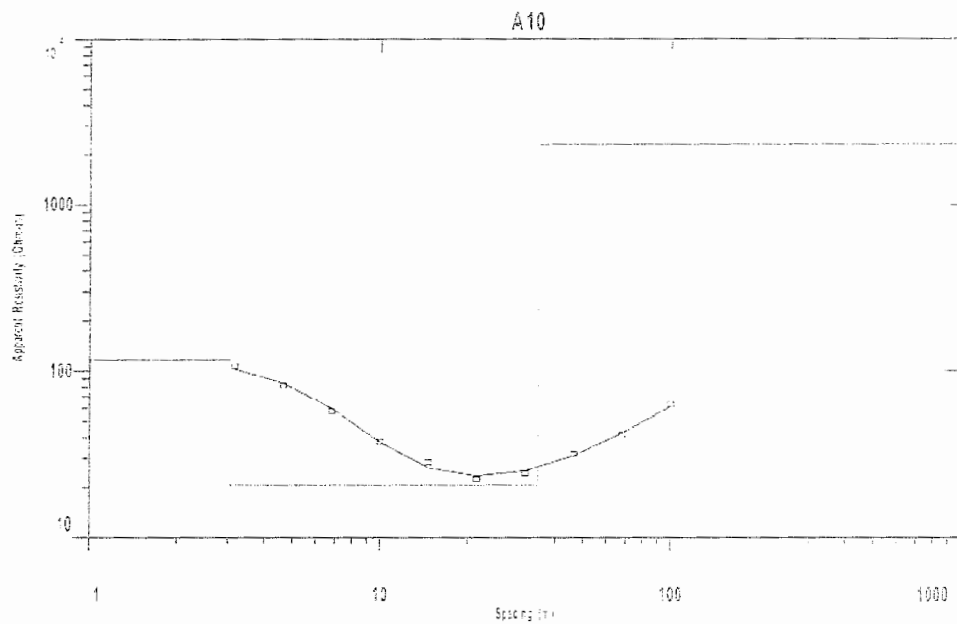
شکل ب- ۹: مدل یک بعدی سونداژ A7 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



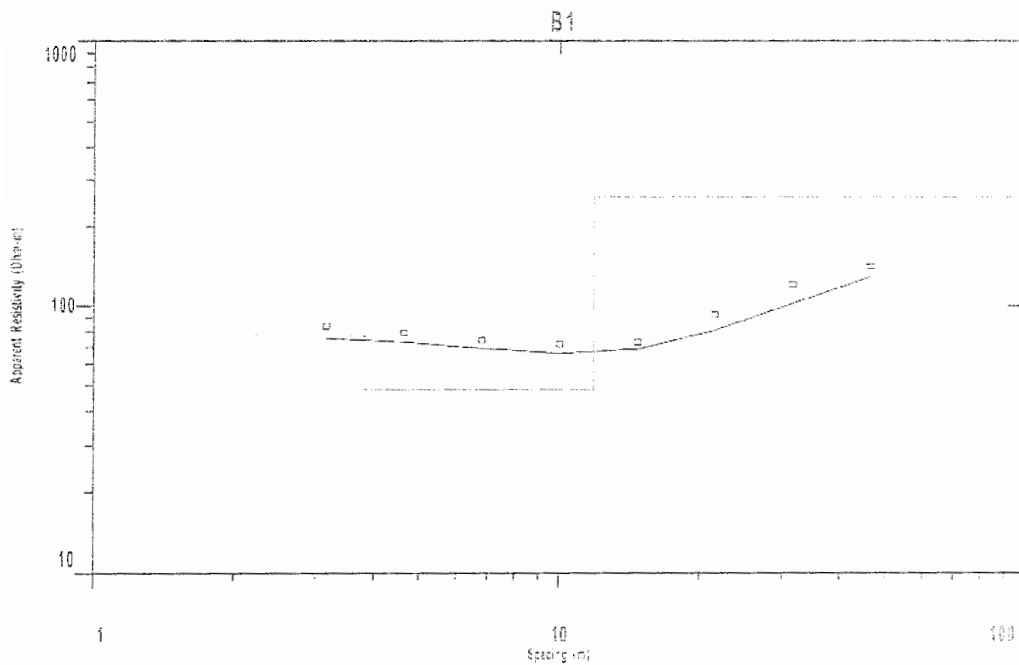
شکل ب- ۱۰: مدل یک بعدی سونداژ A8 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



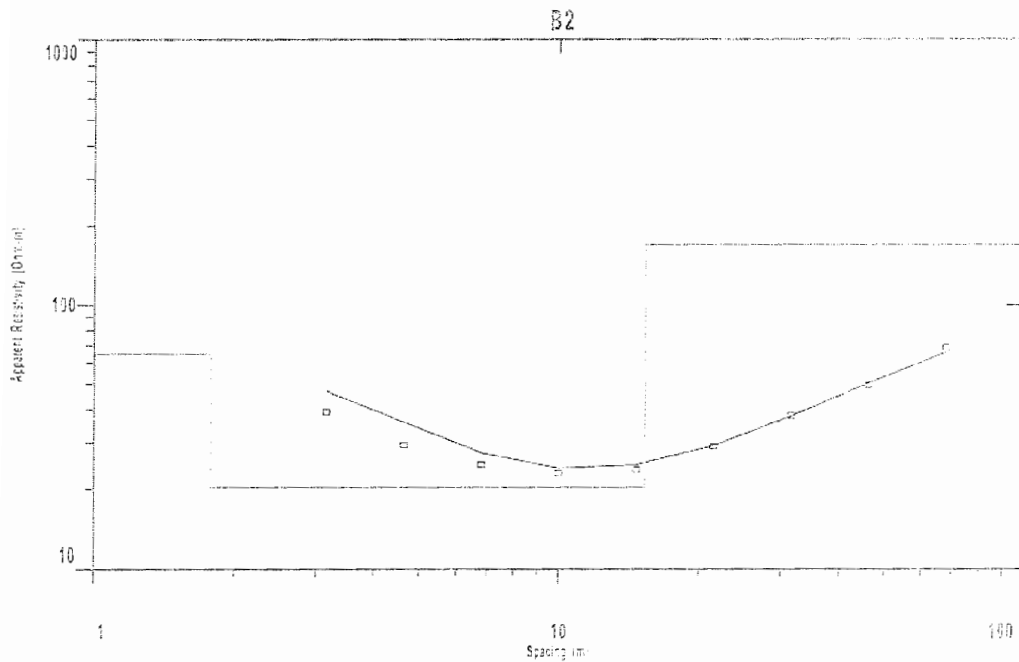
شکل ب- ۱۱: مدل یک بعدی سونداژ A9 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



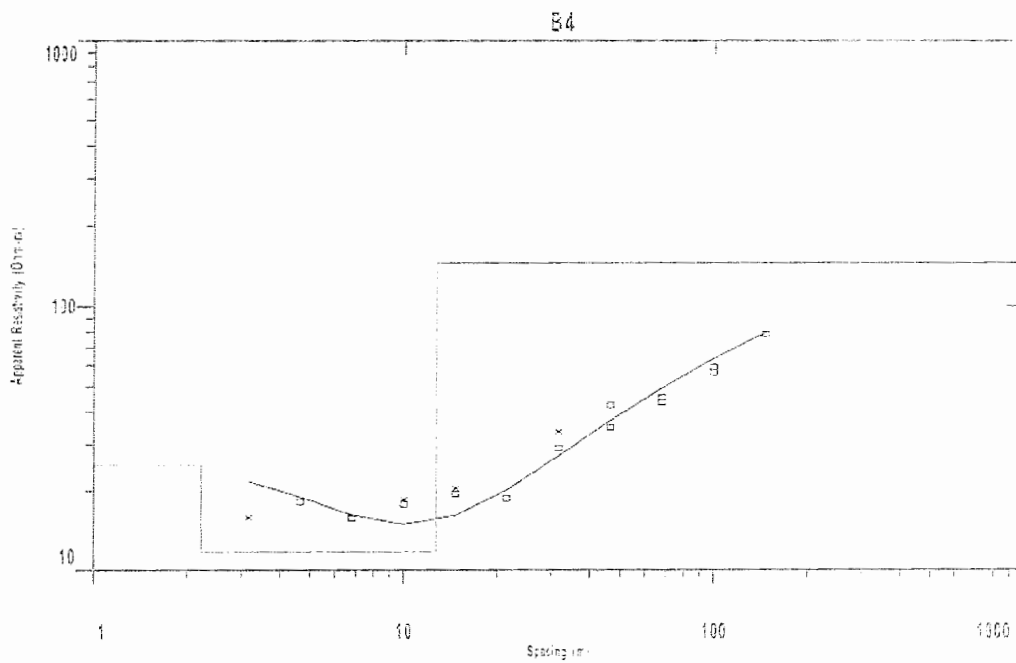
شکل ب- ۱۲: مدل یک بعدی سونداژ A10 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



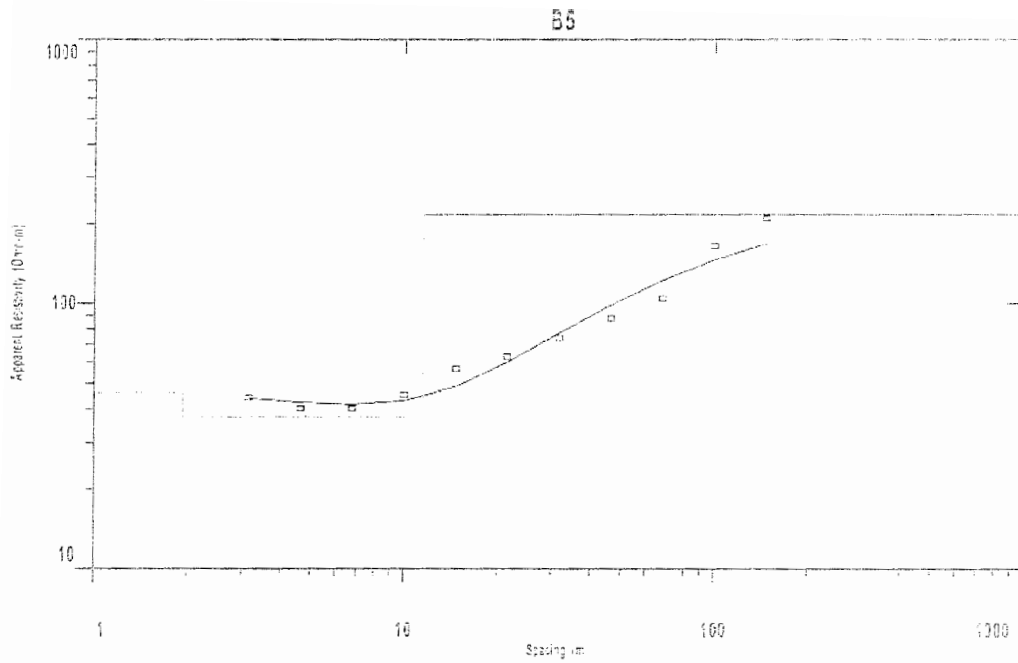
شکل ب- ۱۳: مدل یک بعدی سونداژ B1 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



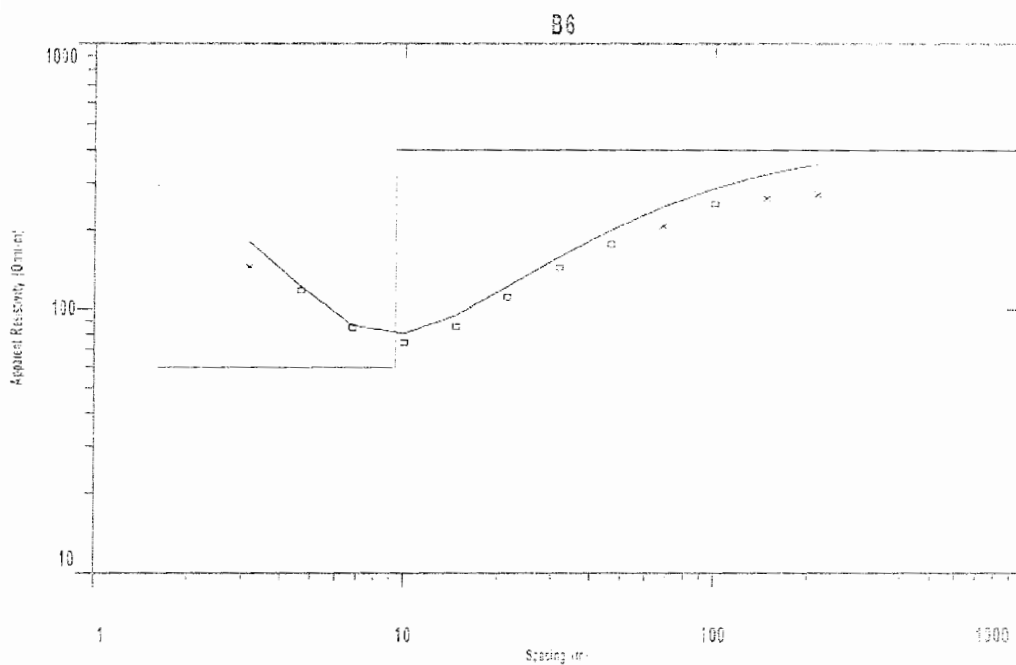
شکل ب- ۱۴: مدل یک بعدی سونداژ B2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



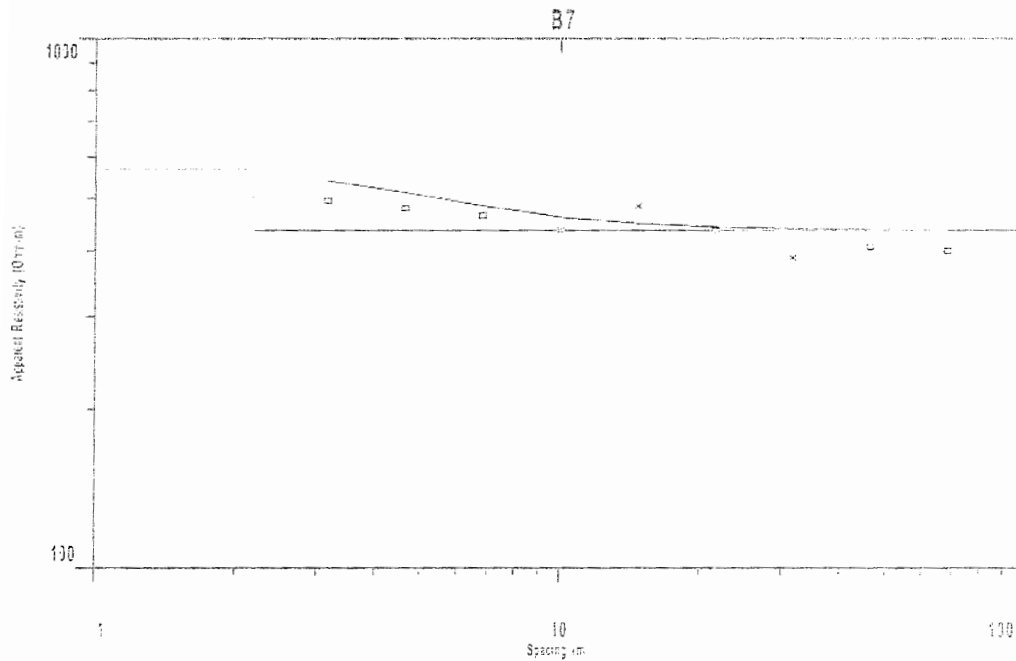
شکل ب- ۱۵: مدل یک بعدی سونداژ B4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



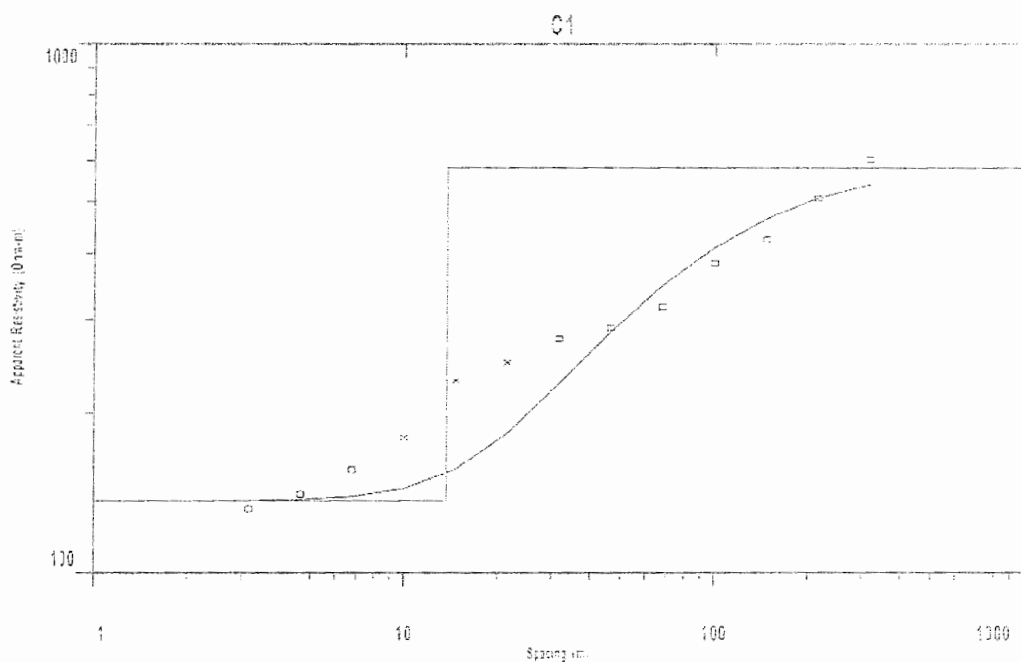
شکل ب- ۱۶: مدل یک بعدی سونداژ B5 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



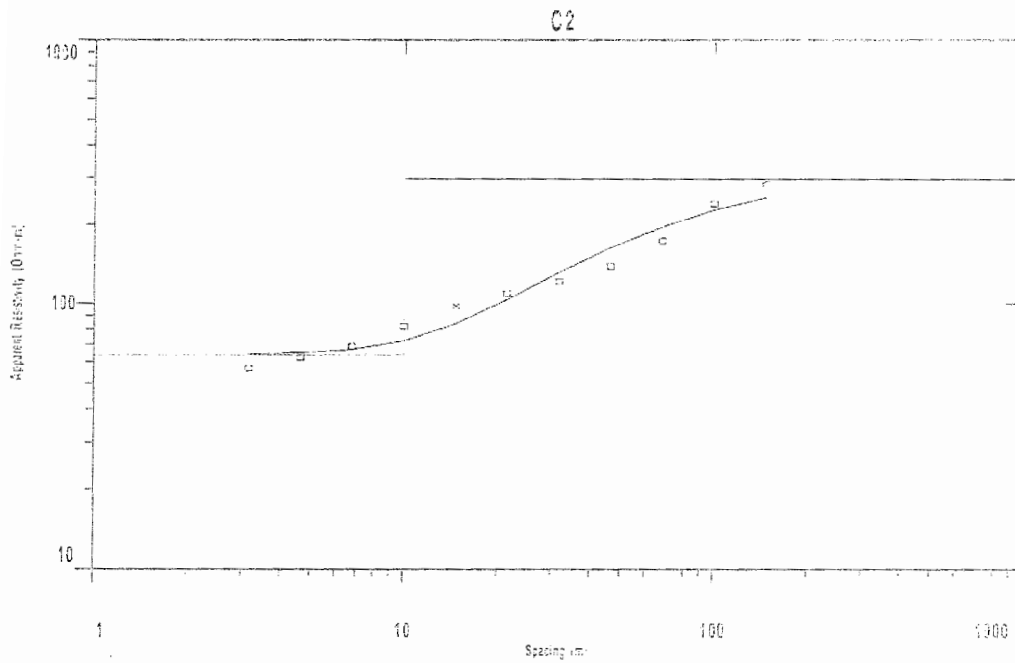
شکل ب- ۱۷: مدل یک بعدی سونداژ B6 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



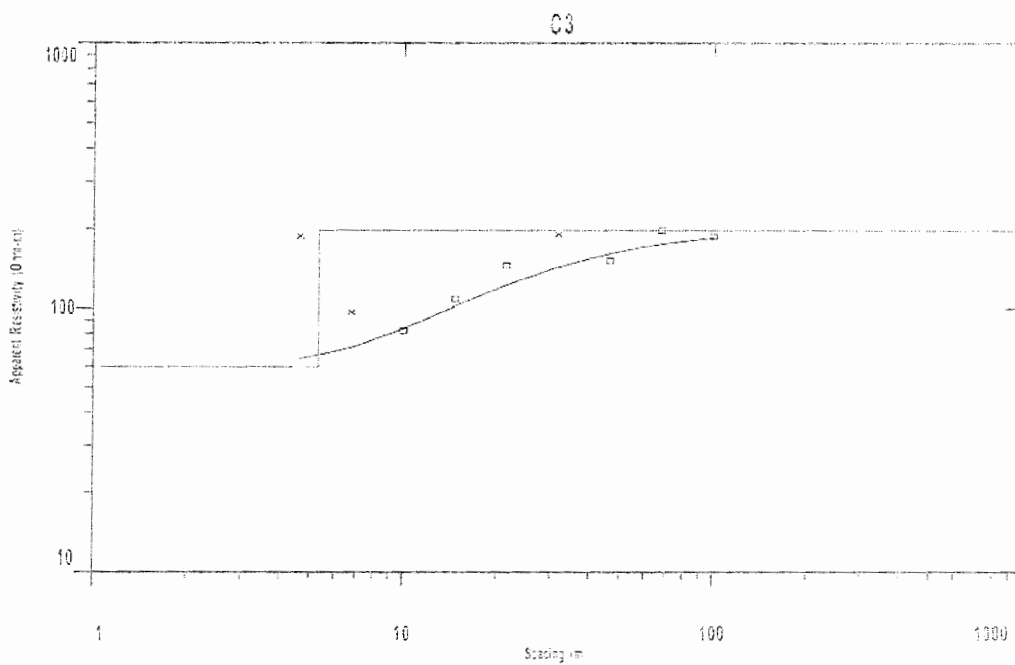
شکل ب- ۱۸: مدل یک بعدی سونداژ B7 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



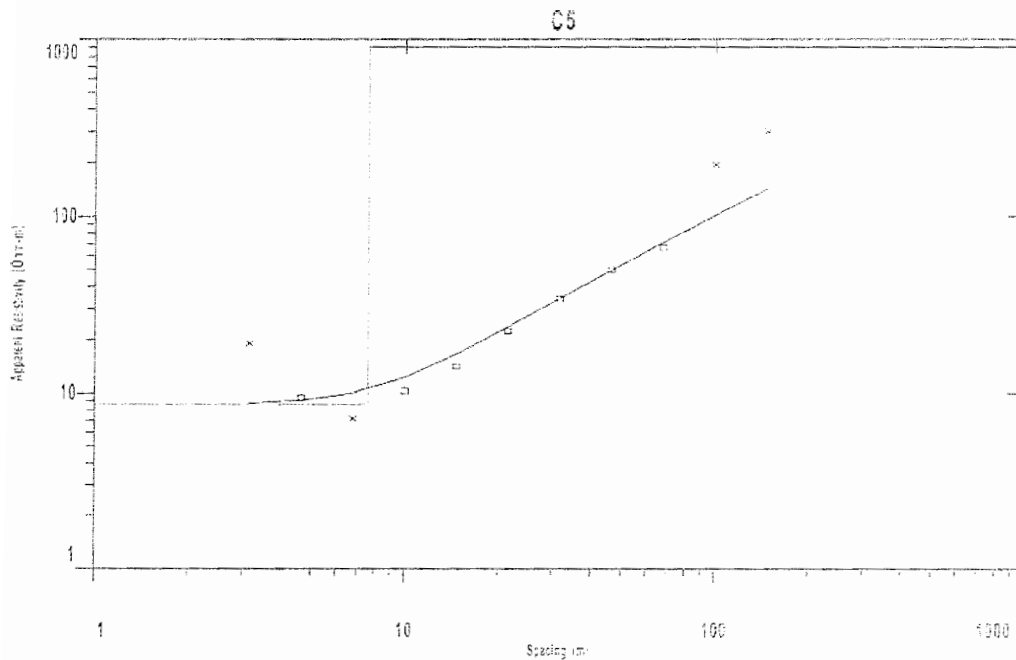
شکل ب- ۱۹: مدل یک بعدی سونداژ C1 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



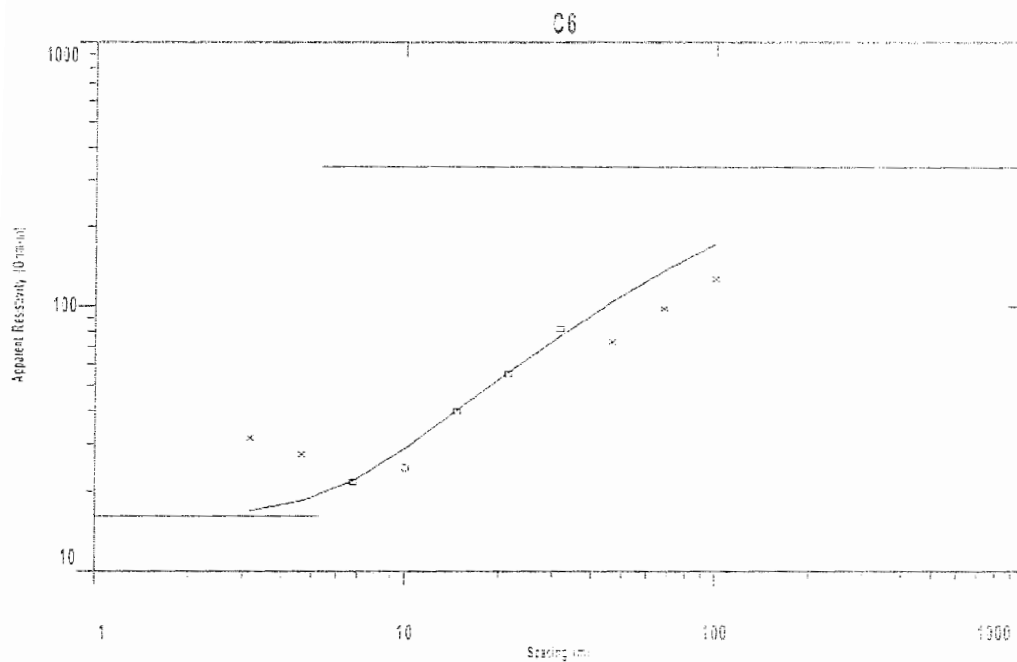
شکل ب- ۲۰: مدل یک بعدی سونداژ C2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



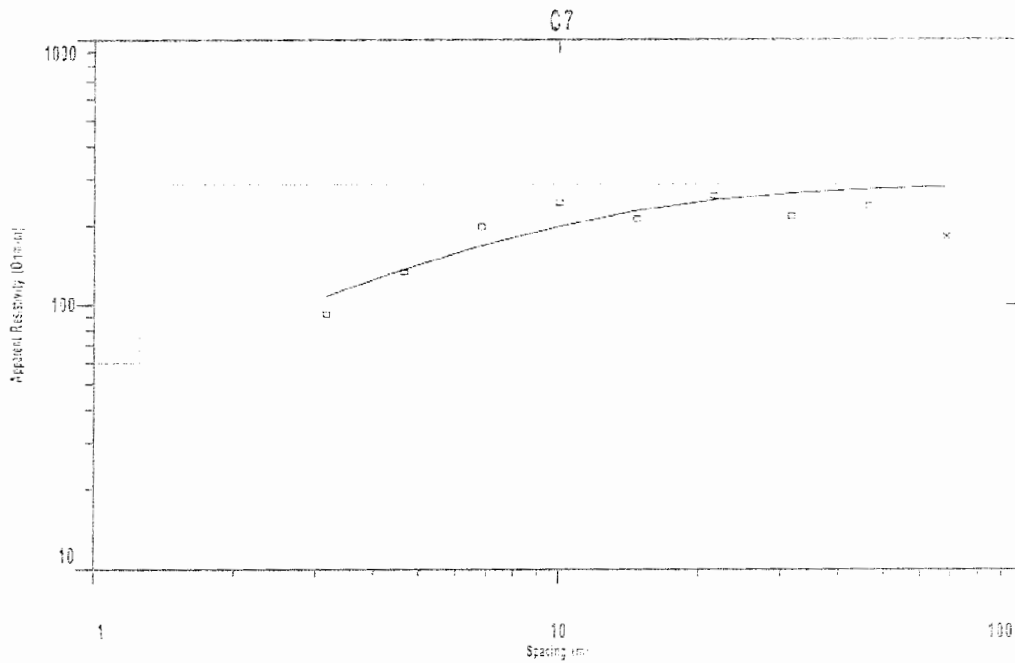
شکل ب- ۲۱: مدل یک بعدی سونداژ C3 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



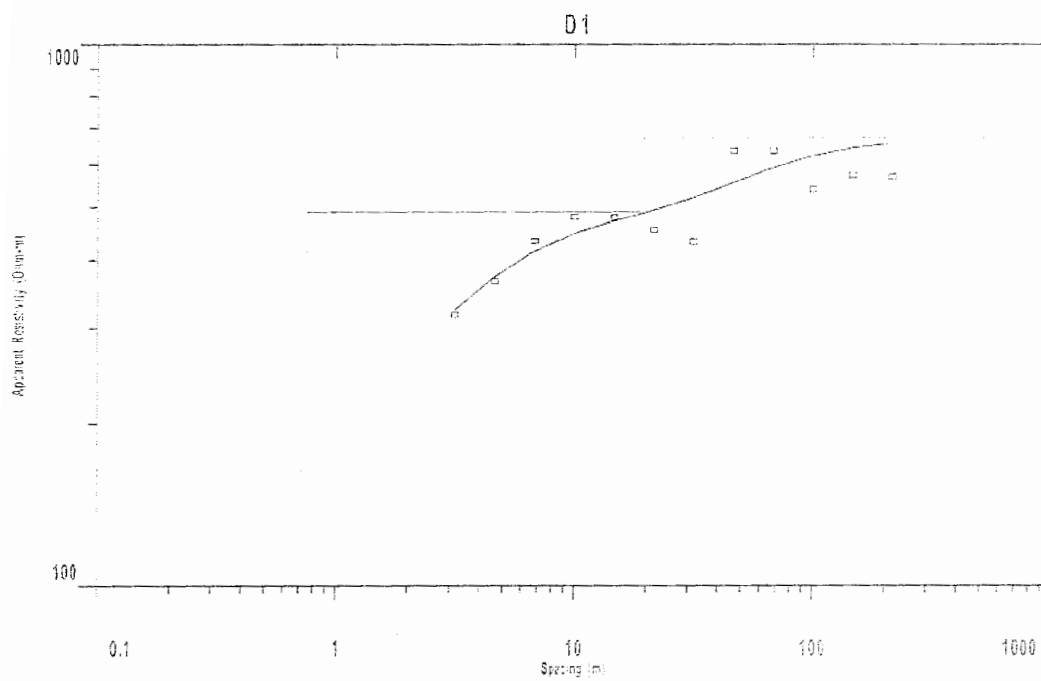
شکل ب- ۲۲: مدل یک بعدی سونداژ C4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



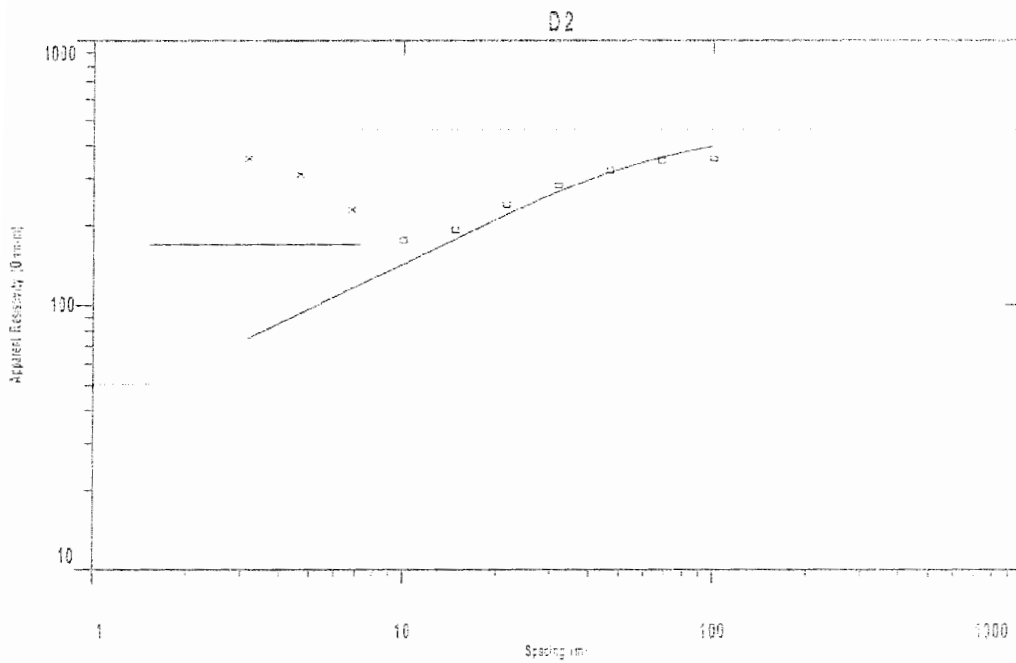
شکل ب- ۲۳: مدل یک بعدی سونداژ C6 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



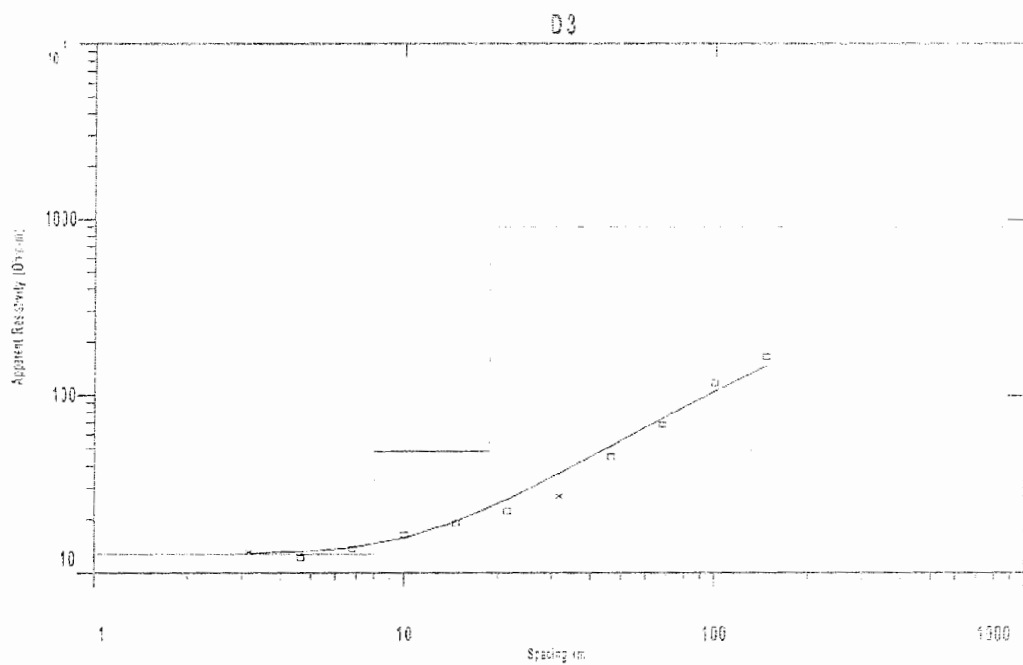
شکل ب- ۲۴: مدل یک بعدی سونداژ C7 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



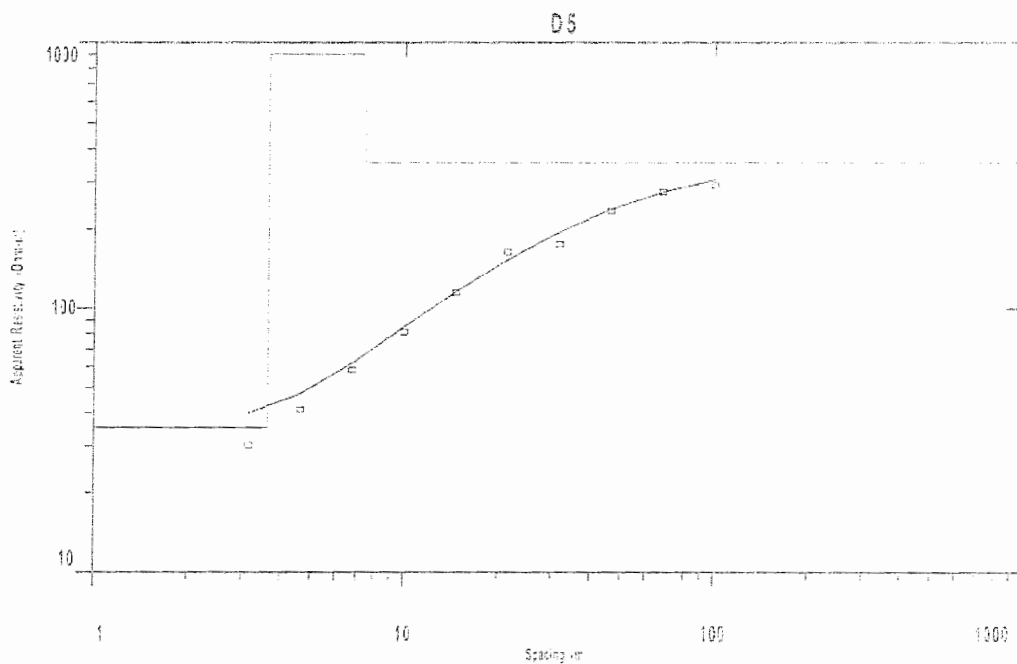
شکل ب- ۲۵: مدل یک بعدی سونداژ D1 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



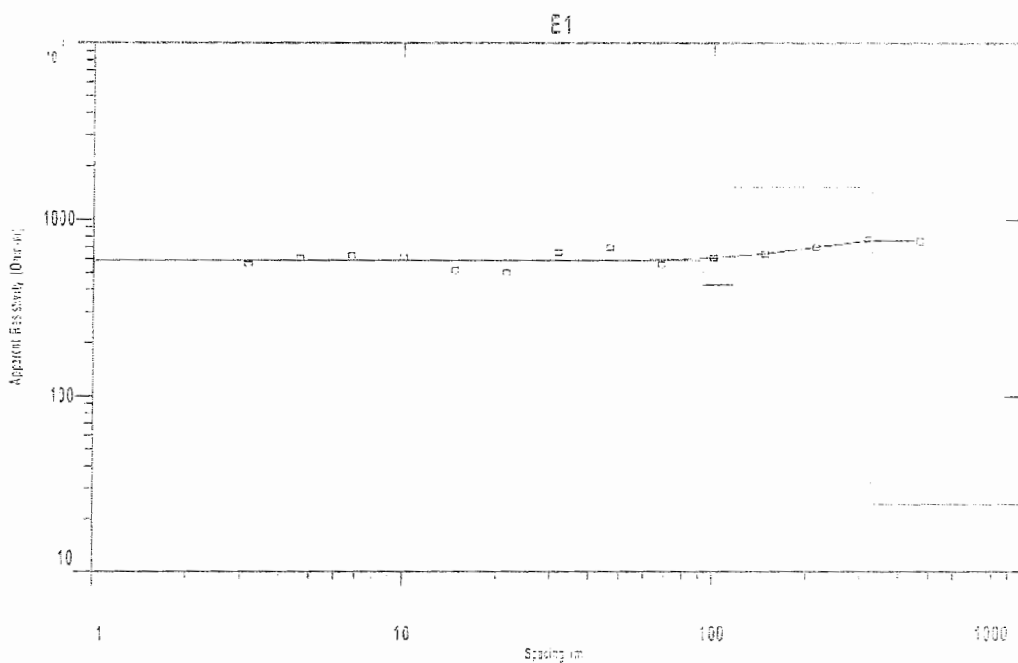
شکل ب- ۲۶: مدل یک بعدی سونداژ D2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



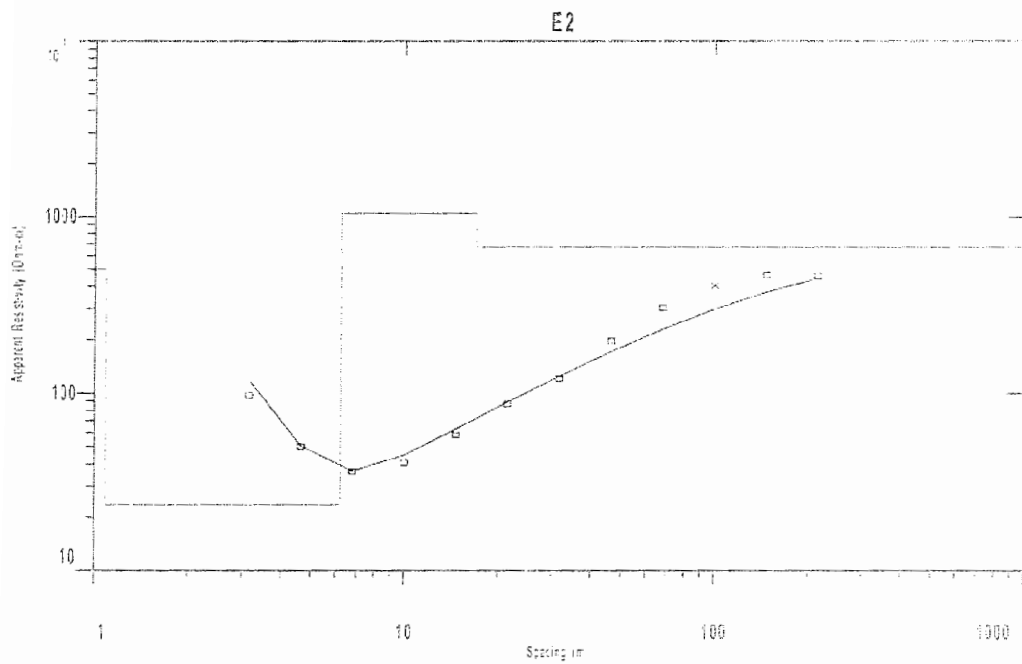
شکل ب- ۲۷: مدل یک بعدی سونداژ D3 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



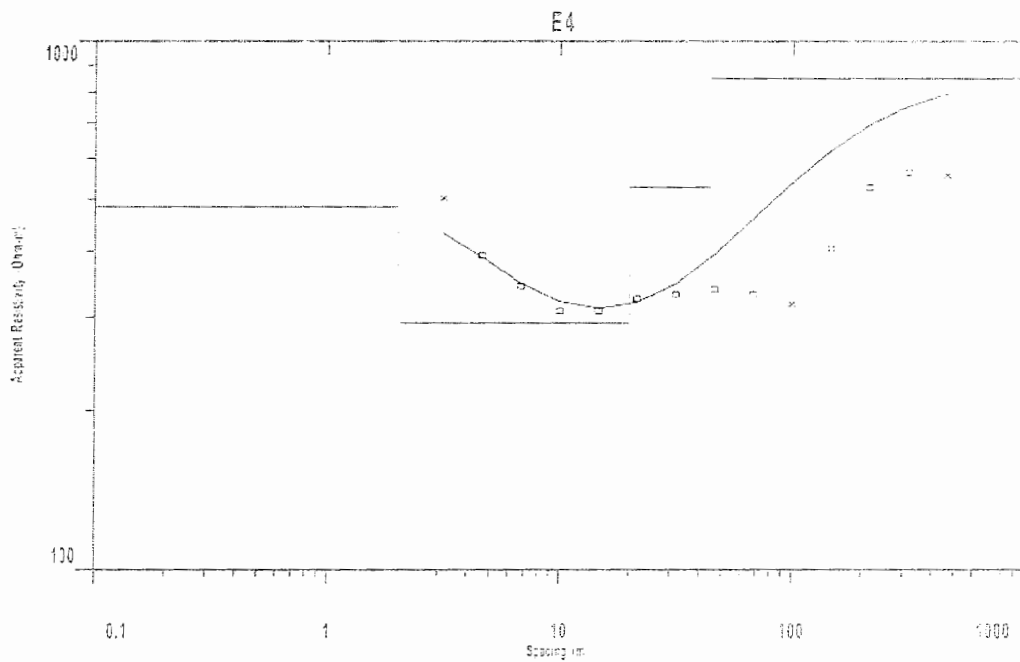
شکل ب- ۲۸: مدل یک بعدی سونداژ D5 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



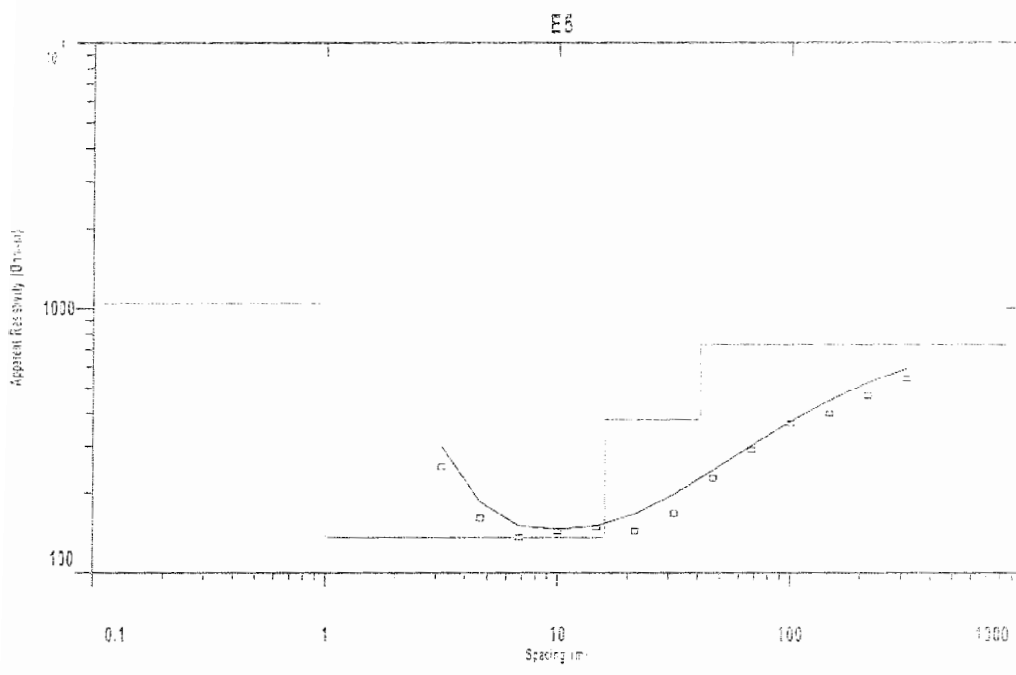
شکل ب- ۲۹: مدل یک بعدی سونداژ E1 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



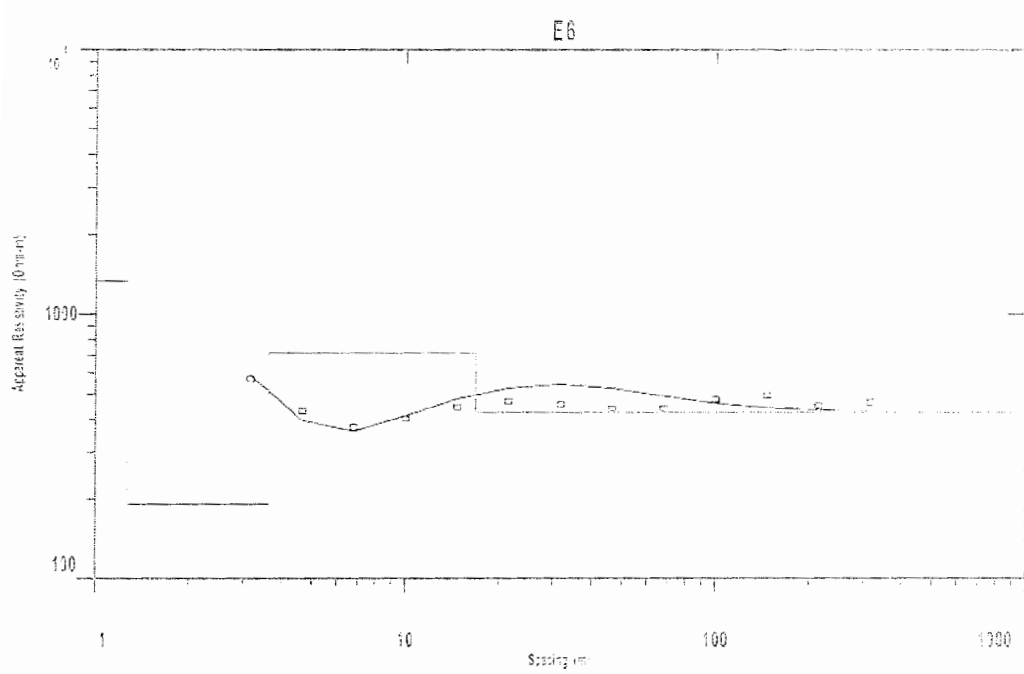
شکل ب- ۳۰: مدل یک بعدی سونداژ E2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



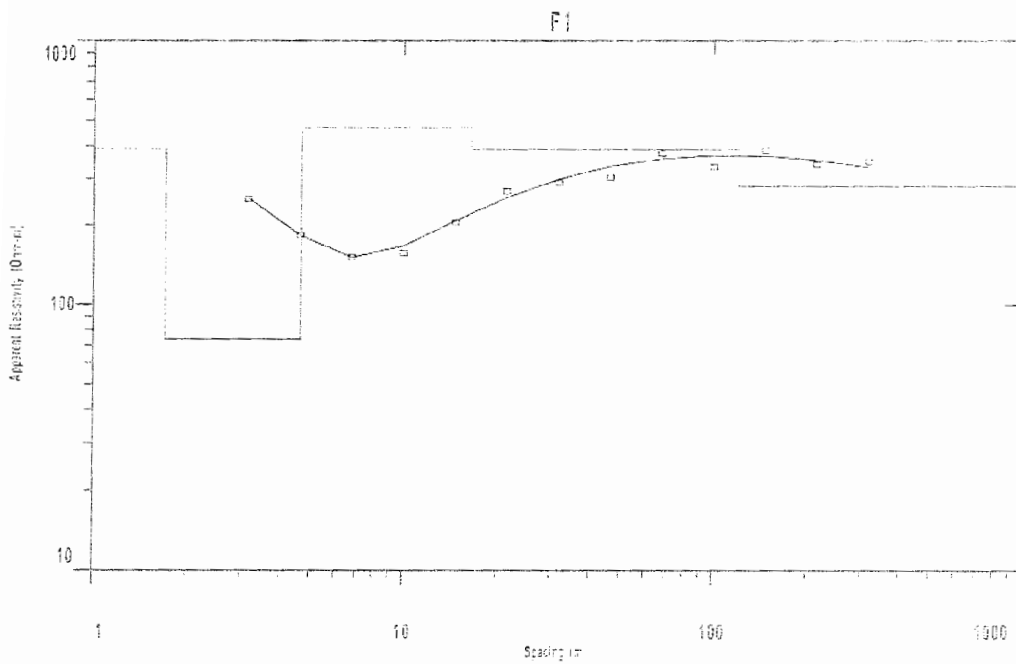
شکل ب- ۳۱: مدل یک بعدی سونداژ E4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



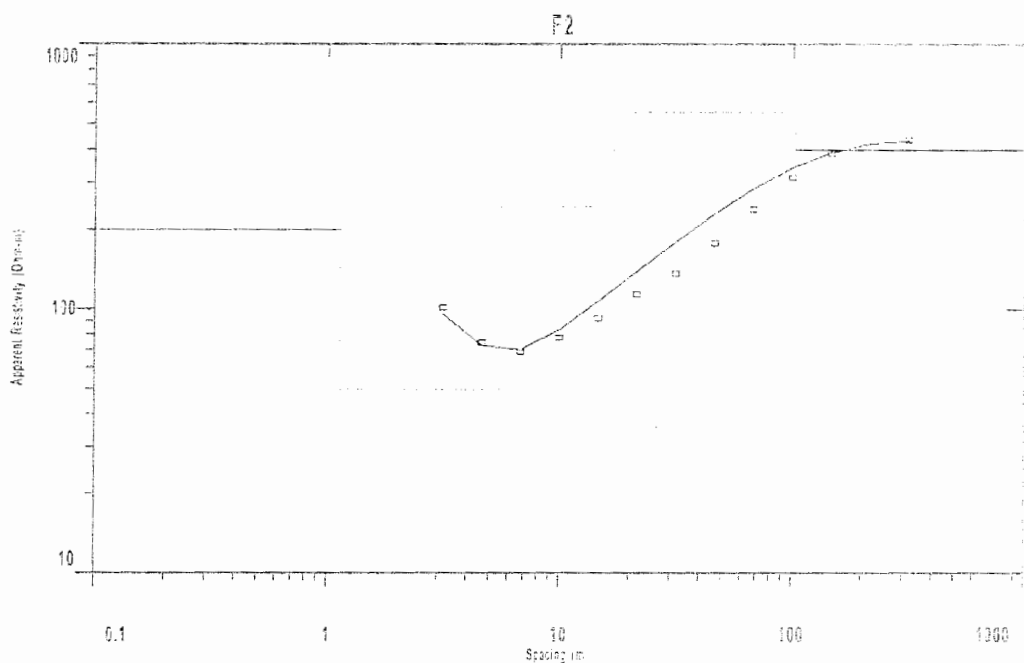
شکل ب- ۳۲: مدل یک بعدی سونداژ E5 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



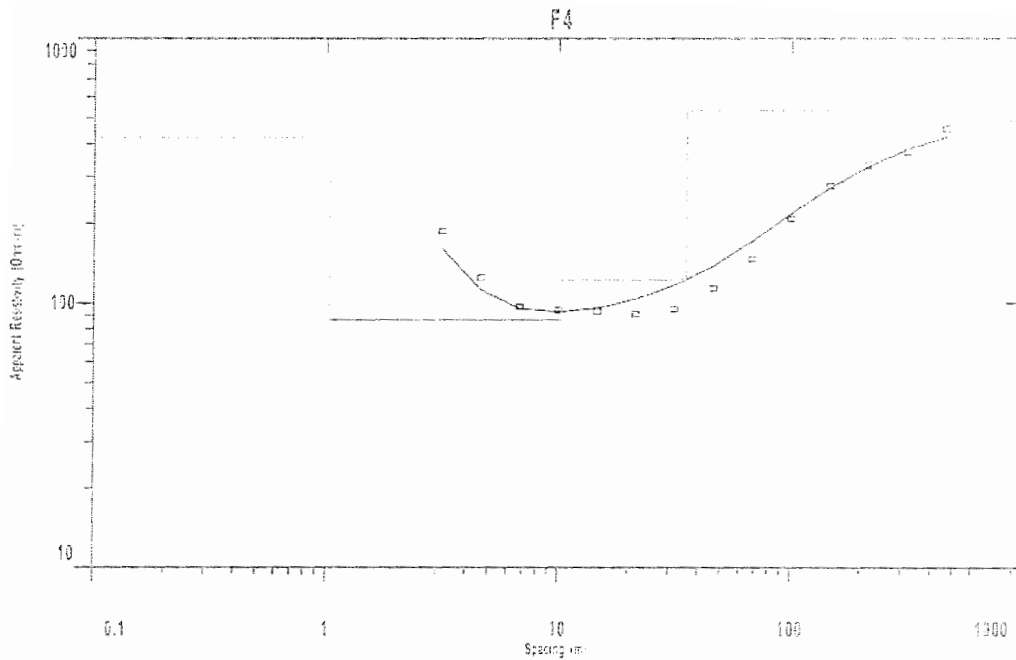
شکل ب- ۳۳: مدل یک بعدی سونداژ E6 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



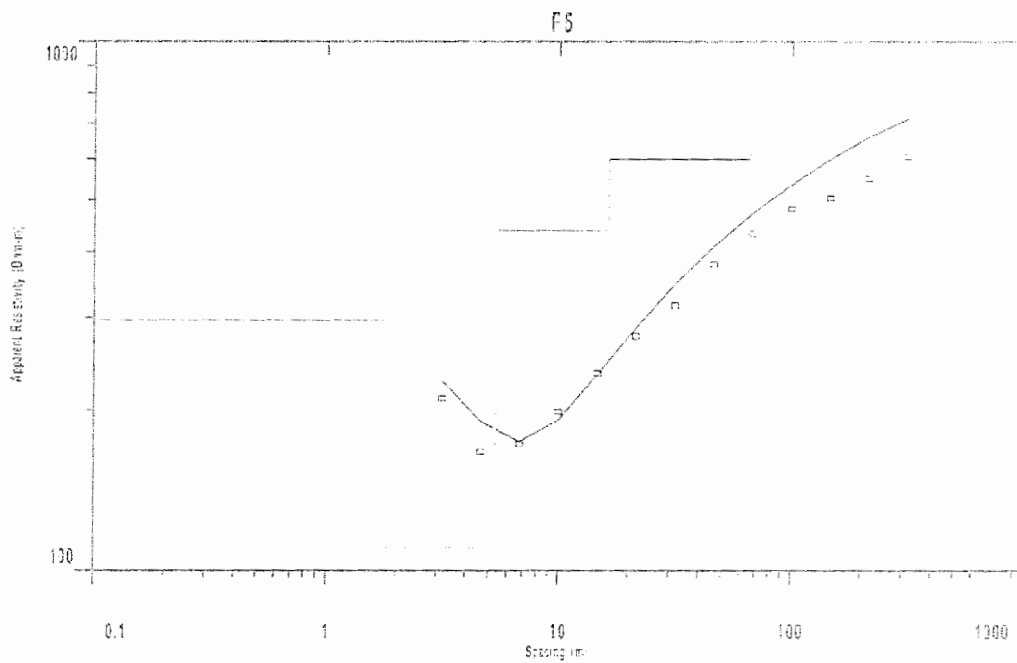
شکل ب- ۳۴: مدل یک بعدی سونداژ $F1$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار $LX1D$



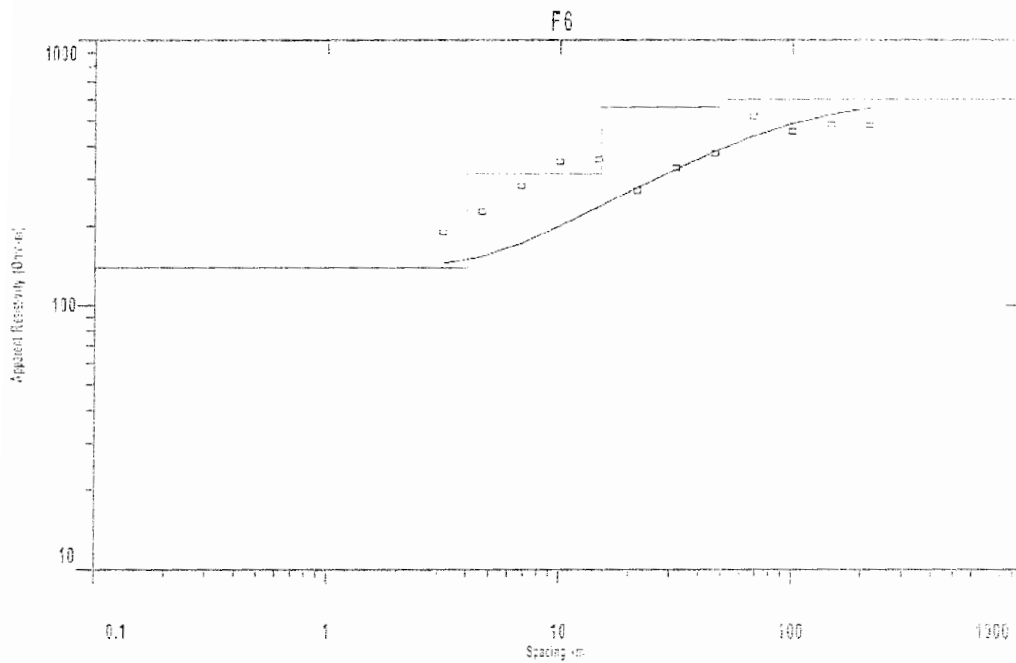
شکل ب- ۳۵: مدل یک بعدی سونداژ $F2$ حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار $LX1D$



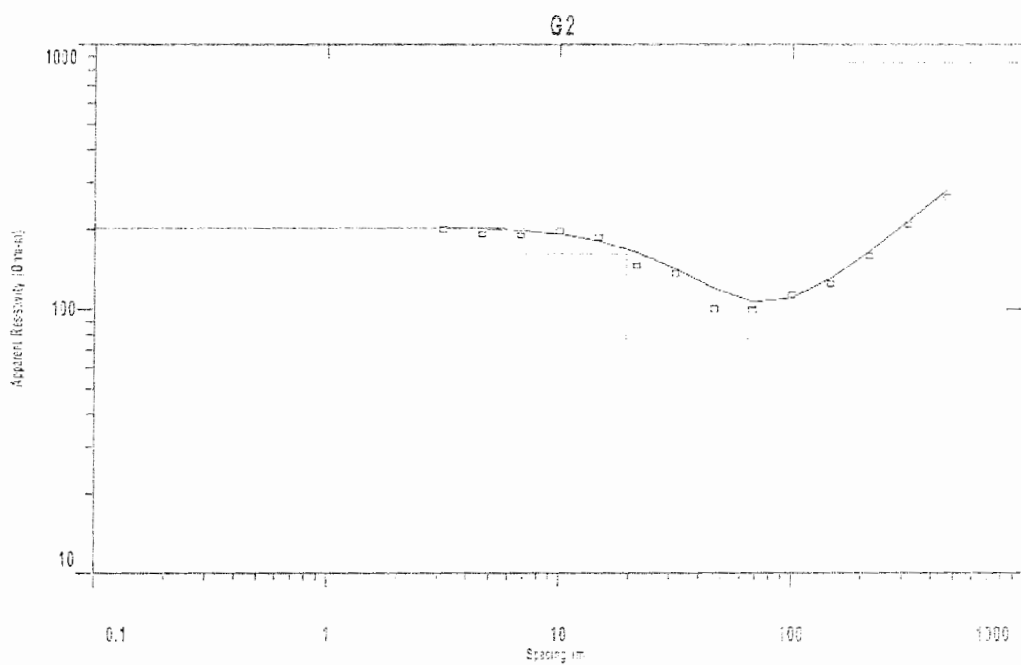
شکل ب- ۳۶: مدل یک بعدی سونداژ F4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



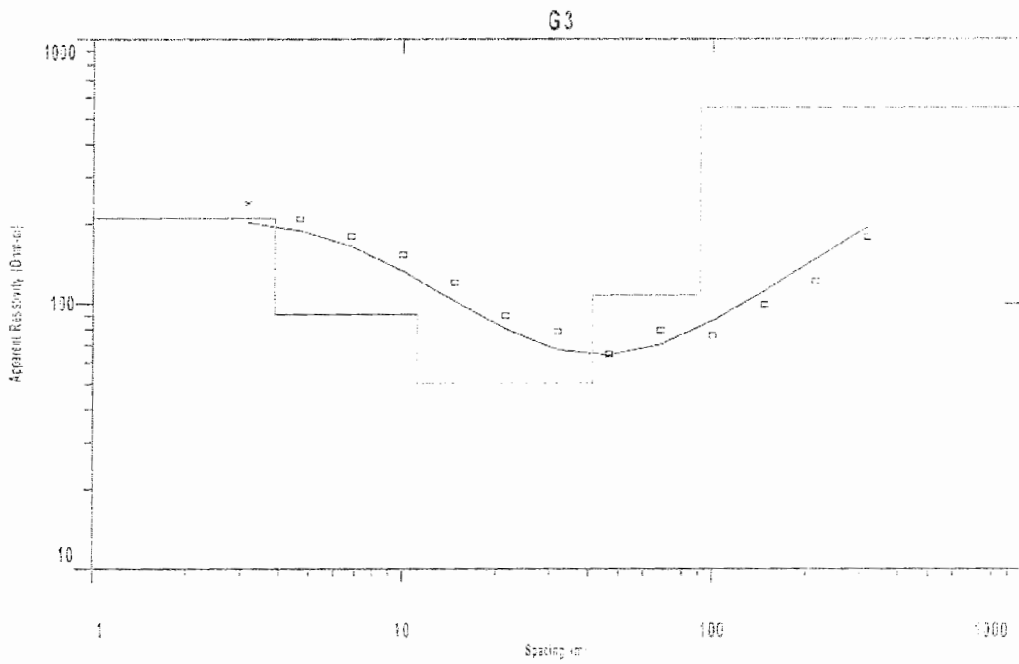
شکل ب- ۳۷: مدل یک بعدی سونداژ F5 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



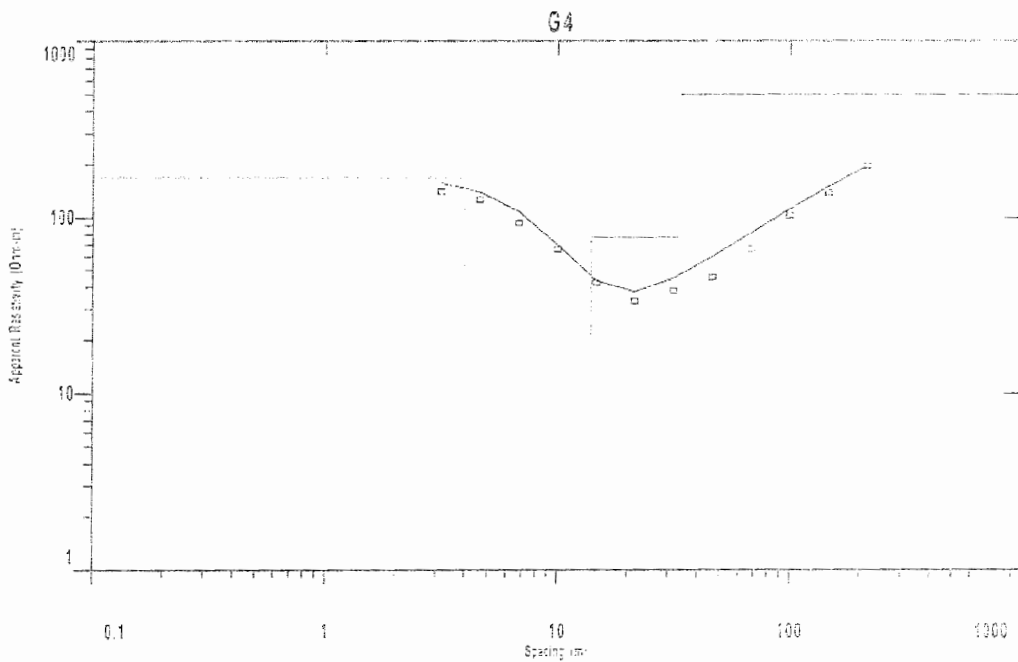
شکل ب- ۳۸: مدل یک بعدی سونداژ F6 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



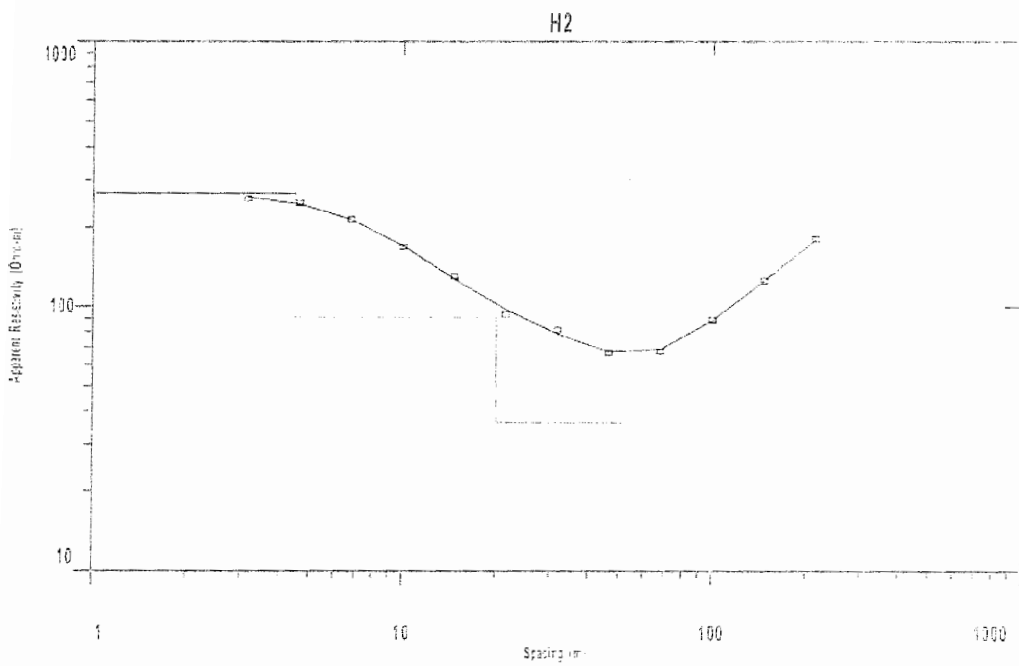
شکل ب- ۳۹: مدل یک بعدی سونداژ G2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IX1D



شکل ب- ۴۰: مدل یک بعدی سونداژ G3 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



شکل ب- ۴۱: مدل یک بعدی سونداژ G4 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار IXID



شکل ب- ۴۲: مدل یک بعدی سونداژ H_2 حاصل از معکوس سازی داده های مقاومت ویژه ظاهری توسط نرم افزار *IX1D*